ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE.

TOME IX.

1875

1er SEMESTRE.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 1

LES ÉLÈVES-EXTERNES
DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

NOTE

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

On ne sait peut-être pas assez généralement que l'École des ponts et chaussées n'est pas exclusivement ouverte aux *élèves-ingénieurs* sortant de l'École Polytechnique, et qu'elle reçoit, gratuitement, deux autres catégories d'élèves : des *élèves-externes* et des auditeurs libres. La présente note a pour but d'appeler l'attention sur cette partie intéressante du service de l'École et de répandre, par la voie des *Annales*, les dispositions réglementaires qui s'y rattachent.

I. — Période antérieure a 1851.

Bien avant le décret du 13 octobre 1851, qui a modifié l'organisation de l'École, des auditeurs autres que les élèves-ingénieurs furent admis à suivre les cours oraux dans les amphithéâtres. Cette faculté était accordée par des décisions spéciales du Ministre des travaux publics. Il y eut 186 autorisations accordées, soit 7,44 en moyenne par année, durant le quart de siècle qui s'écoula de 1825 à 1850. Mais 120 seulement de ces auditeurs spéciaux subirent avec succès les examens de sortie que comportent les différents cours de l'École.

Ils étaient étrangers pour la plupart et se divisaient ainsi qu'il suit à raison de leur nationalité :

Polonais	38	Badois		4
Français	30	Américains	États-Unis	4
Portugais	19		Chili	4
Suisses	14		Rép. de Venezuela	3
Brésiliens	11		Mexique	2
Égyptiens	9		Colombie	1
Italiens	9		Havane	1
Espagnols	7		Sans désignation	2
Danois	6	Anglais		1
Grecs	6	Belges		1
Russes	6			

Plusieurs des hommes compris dans cette période ont occupé plus tard de grandes positions dans l'industrie, l'armée, l'administration ou la politique. On peut citer, par exemple, en remontant vers le passé :

M. de la Bouillerie (entré en 1844), qui a été ministre de l'agriculture et du commerce en France;

M. W. de Nordling (1842), wurtembergeois d'origine, aujourd'hui Conseiller aulique I. R. A., directeur général du chemin de fer de la Theiss, à Pesth ;

Le général polonais Bem (1839);

M. Malinowski (1834), polonais, membre du conseil général des travaux publics au Pérou;

Le général russe Kerbetz, directeur général des voies de communication en Russie;

M. Charles Ellet (1830), qui fut un des plus célèbres ingénieurs de l'Amérique (1).

---

(1) Nous ne pouvons parler ici des canaux, des chemins de fer, etc., construits par M. Ellet dans son pays natal, non plus que de ses œuvres de publiciste. Cependant les morts ont des priviléges, et peut-être nous sera-t-il permis de raconter, quoiqu'en termes forcément un peu longs, comment s'est terminée la carrière de cet ancien élève de l'École des ponts et chaussées, car sa fin a été digne d'un ingénieur tel que lui.

M. Ellet est considéré en Amérique comme le véritable inventeur des navires *à éperon*. Cette vieille idée, qui n'avait (croyons-nous) donné lieu, en divers pays, qu'à de timides et stériles expériences, il l'approfondit et la développa en 1855 dans un mémoire adressé au Congrès, et qui fut très-remarqué, surtout dans les États du Sud. Le gouvernement toutefois ne donna pas suite à la proposition de créer ces nouveaux engins de combat. Mais la guerre de la Sécession éclate en 1861, et M. Ellet reconnaît bientôt, par quelques indications de journaux, que les *confédérés*, les « rebelles » du Sud, s'emparant de son idée, construisent des béliers à vapeur à Norfolk, à Mobile, à la Nouvelle-Orléans. Il poussa, mais vainement encore, un cri d'alarme. On sait comment, à Hampton-Roads (embouchure de la rivière James dans la Chesapeake), le *Merrimac* coula bas deux vaisseaux de la marine *fédérale*. Bien que le terrible bélier se fût retiré le lendemain devant le *Monitor* (le premier navire à tourelle, imaginé et construit en quelques mois par M. Ericsson, à New-York), le désastre de Hampton-Roads frappa de consternation le gouvernement fédéral. Il était enfin convaincu! M. Ellet fut nommé d'emblée colonel, avec pleins pouvoirs pour prendre les dispositions nécessaires en vue de protéger une flotille de canonnières massée à Memphis, sur le Mississipi, et menacée par l'escadre que les confédérés allaient envoyer du Sud. On ne pouvait songer à construire des vaisseaux neufs. Le nouveau colonel prend neuf steamboats de rivière, les consolide, et, en six semaines, les transforme en béliers. La rencontre qui eut lieu près de Memphis, le 6 juin 1862, en vue des milliers de spectateurs qui couvraient les deux rives du fleuve, fut un des épisodes les plus mémorables de cette guerre civile. Deux bateaux, dirigés l'un par Ellet et l'autre par son frère, passant à travers les bâtiments cuirassés de l'ennemi, coururent sus à deux des plus gros vaisseaux : ceux-ci s'enfoncèrent, l'un à l'instant même, l'autre quelques moments après, avec toute leur cargaison vivante. Un autre encore fut coulé et quatre durent se rendre. Un seul parvint à s'échapper.

Au moment du choc, Ellet fut pris d'une irrésistible envie d'en apprécier les effets de ses propres yeux, et il monta sur le pont. Un homme placé sur le navire qui sombrait le visa et l'atteignit au genou d'un coup de pistolet. La blessure ne paraissait pas grave, le colonel continua de commander. Cependant il en mourut quinze jours après.

II. — De 1851 a 1875.

En vertu du décret de 1851 (1), l'École reçoit maintenant : 1° des élèves-externes, français ou étrangers, qui sont admis à la suite d'épreuves, par décision du Ministre des travaux publics, à suivre les cours oraux et *à participer à tous les travaux intérieurs* de l'École ; 2° des personnes simplement admises, sur l'autorisation du Directeur de l'École, à assister aux cours oraux.

On trouvera ci-après le texte même des dispositions réglementaires applicables à chacune de ces deux catégories, savoir :

1° Pour les élèves-externes : des extraits du décret de 1851 (p. 11); — un arrêté ministériel du 14 février 1852, concernant l'admission des élèves (p. 13); — un arrêté ministériel du 10 mai 1853, concernant l'enseignement et le classement (p. 15); — enfin un résumé du programme des connaissances exigées pour l'admission (p. 17);

2° Pour les simples auditeurs des cours oraux : une décision ministérielle du 29 octobre 1855 (p. 22).

Les élèves-externes admis de 1851 à 1875 ont varié en nombre de la manière suivante :

1851	3	*Report*	65	*Report*	147
1852	3	1860	15	1868	6
1853	6	1861	8	1869	10
1854	9	1862	7	1870 } 1871 }	9
1855	3	1863	12		
1856	17	1864	12	1872	5
1857	12	1865	7	1873	7
1858	5	1866	12	1874	11
1859	7	1867	9	Total	195
A reporter	65	*A reporter*	147		

ce qui donne une moyenne annuelle de 8,48.

(1) Publié *in extenso* dans les *Annales*, 1851, p. 257.

Au point de vue de la nationalité, le groupement s'établit ainsi qu'il suit :

Polonais	66	Turcs	3
Français	36	Espagnols	2
Portugais	16	Suisses	2
Roumains (Moldaves ou Valaques)	14	Serbes	2
Autrichiens et Hongrois	12	Péruviens	2
Brésiliens	12	Anglais	1
Italiens	11	Badois	1
Américains (États-Unis)	6	Hessois	1
Russes	3	Mexicains	1
Grecs	3	Colombiens (Amérique méridionale)	1

Parmi les hommes ainsi admis à l'École depuis 1850, nous nous bornerons à citer ici un certain nombre de ceux qui appartiennent à des nationalités étrangères, en ajoutant quelques renseignements que nous croyons exacts à la date du 1er juillet 1873 :

1851
— M. Alfred Rives, américain, qui a construit, comme ingénieur ordinaire, une partie de l'aqueduc du Potomac pour la distribution d'eau de Washington.
— M. Chevki, égyptien, qui a été ministre du vice-roi d'Égypte.

1852
— M. Donici, moldave, ancien ministre des travaux publics de la Roumanie.
— M. Borgnini, italien, vice-directeur général de la compagnie des chemins de fer méridionaux d'Italie.

1853
— M. Billia, italien, directeur technique des chemins de fer calabro-siciliens.
— M. Dionisio, italien, ingénieur en chef des travaux maritimes au port de Brindisi.

1855 — M. Bömches, autrichien, ingénieur en chef des travaux du port de Trieste.

1856
— M. d'Abreu, portugais, a été directeur des chemins de fer du Portugal.
— M. Frounza, moldave, inspecteur général des ponts et chaussées en Roumanie.
— M. do Rego, portugais, directeur général des télégraphes et phares du Portugal.
— M. Cornaglia, italien, ingénieur en chef du port de Gênes.

1857 — M. de Goldschmidt, autrichien, administrateur de la Société générale autrichienne immobilière, président de l'Association des anciens élèves-externes de l'École des ponts et chaussées de France (1).

— M. Pontzen, autrichien, ingénieur en chef du bureau technique de la banque anglo-autrichienne, à Vienne.

1858 — M. Pigot, irlandais, professeur de construction au *Royal College of Science for Ireland*, à Dublin.

1859 — M. d'Espergueira, portugais, directeur de la compagnie royale des chemins de fer portugais du Nord et de l'Est.

— M. Yorchano, valaque, inspecteur général des ponts et chaussées de la Roumanie.

1860 — M. de Barboza, portugais, ingénieur en chef des travaux maritimes du port de Ponta-Delgada.

— M. Habich, polonais, membre du conseil des travaux publics du Pérou.

— M. de Souza-Gomez, portugais, directeur du service de la distribution des eaux à Lisbonne.

1861 — M. Bicalho, brésilien, ingénieur en chef du chemin de fer de Rio de Janeiro.

— M. de Leber, autrichien, commissaire de l'Inspection I. R. générale des chemins de fer autrichiens.

1862 — M. de Serres-Wieczffinski, polonais, directeur adjoint de la construction de la Société autrichienne des chemins de fer de l'État.

— M. Kretkowsky, polonais, professeur à l'Université de Varsovie.

1863 — M. Margossoff, turc, directeur des travaux du port de Smyrne.

1864 — M. Guerreiro de Castanheirinho, portugais, ingénieur en chef du district de Lisbonne.

1865 — M. Tzony, moldave, professeur à l'Université de Jassy.

1866 — M. Garcia, portugais, professeur à l'Institut industriel de Lisbonne et ingénieur en chef du service municipal de cette ville.

On pourrait ajouter bien d'autres noms empruntés aux carrières honorables et lucratives de l'industrie privée. Mais ce qui précède suffit pour faire apprécier l'avenir ou-

(1) Voir *Ann.*, 1872, 1er sem., p. 204.

vert aux anciens élèves-externes de l'École des ponts et chaussées. Quelle que soit finalement leur position sociale, et si loin de nous que leur destinée les conduise, ils savent que l'École applaudira toujours à leurs succès avec une cordiale sympathie.

Paris, 20 janvier 1875.

DOCUMENTS ANNEXES.

PREMIÈRE PARTIE. — ÉLÈVES-EXTERNES.

Extraits du décret d'organisation du 13 octobre 1851.

TITRE 1er. — *Institution de l'École.*

ART. 1er. L'École des ponts et chaussées est destinée à former les ingénieurs nécessaires au service confié par l'État aux ingénieurs des ponts et chaussées.

Elle est placée dans les attributions du Ministre des Travaux publics.

ART. 2. L'enseignement de l'École a pour objet spécial les *routes*, les *chemins de fer*, les *canaux*, les *rivières* et *fleuves*, les *ports maritimes*, et en général tout ce qui se rapporte aux voies de communication par terre et par eau.

Il a également pour objet les *irrigations*, les *desséchements*, la *réglementation des cours d'eau et des usines*, la *distribution des eaux*, etc.

Il comprend les connaissances de *mécanique*, d'*architecture civile*, de *minéralogie*, de *géologie*, d'*agriculture*, d'*administration*, de *droit administratif* et d'*économie politique*, qui sont le plus particulièrement nécessaires aux ingénieurs.

ART. 3. Les élèves de l'École des ponts et chaussées, destinés à recruter le corps des ingénieurs de l'État, sont pris exclusivement parmi les élèves de l'École polytechnique, conformément à l'article 16 du titre II de la loi du 30 vendémiaire an IV, et à l'article 51 de l'arrêté organique de l'École polytechnique du 11 novembre 1848.

Ils sont nommés par décret du Président de la République.

Art. 4. En outre des élèves destinés au service public, il peut être reçu à l'École des élèves-externes, français ou étrangers, autorisés par le Ministre à suivre les cours. Ces élèves, ou une partie d'entre eux, peuvent même être admis, par décision spéciale du Ministre, à participer aux travaux intérieurs de l'École.

Art. 5. Des arrêtés ministériels déterminent le nombre d'élèves externes à admettre chaque année, les conditions de leur admission, les travaux qu'ils auront à exécuter, les examens qu'ils auront à subir à la fin de chaque session, les mesures d'ordre et de discipline que nécessitera l'exécution de ces dispositions.

. . . .

. . . .

Titre V. — *Instruction.*

Art. 28. Le système d'instruction de l'École se compose de deux parties :

L'enseignement de l'École proprement dit ;

L'enseignement pratique des missions.

1re section. — Enseignement.

Art. 29. Le cours complet d'études a une durée de trois ans.

Art. 30. L'enseignement de l'École comprend :

1° Des leçons orales données par les professeurs ;

2° Des études de travaux graphiques, des rédactions de mémoires et des concours sur des projets d'art et de construction ;

3° Des manipulations et des essais de matériaux de construction ;

4° Des exercices de nivellement et de lever de plans ;

5° Des visites d'ateliers.

Art. 31. Les cours et les études de l'intérieur de l'école durent, chaque année, du 1er novembre au 31 mai.

2e section. — Missions.

Art. 32. Du 1er juin au 30 octobre, les élèves sont envoyés en mission dans les départements, et y sont attachés aux travaux en cours d'exécution, pour s'y exercer, sous la direction des chefs de service, à la pratique de l'art de l'ingénieur.

La désignation des missions à donner aux élèves est arrêtée par le ministre, sur la proposition du Conseil de l'École.

Art 33. Durant la mission, les élèves de 2e et de 3e classe tiennent un journal sur lequel ils consignent les renseignements qu'ils ont recueillis, les observations qu'ils ont faites et les opérations auxquelles ils ont pris part.

Lors du classement, à la fin de la session suivante, il leur est tenu compte du mérite de ce journal, ainsi que du zèle qu'ils ont montré et des services qu'ils ont pu rendre pendant leur mission.

Art. 34. A la fin du troisième semestre d'hiver, des missions à l'étranger peuvent être données aux élèves de 1re classe qui se sont le plus particulièrement distingués pendant la durée de leur séjour à l'École.

Titre VI. — *Régime de l'École.*

1re section. — Discipline.

Art. 35. Du 1er novembre au 30 avril, les élèves sont tenus de se trouver à l'École tous les jours, sauf les dimanches et jours fériés, aux heures déterminées par les règlements intérieurs de l'École.

. . . .

Titre VII. — *Classement, promotion de sortie.*

Art. 40. Les élèves sont divisés en trois classes, correspondant chacune à une promotion de l'École polytechnique.

. . . .

Art. 44. L'élève qui, après la première ou la seconde année d'études, n'est pas déclaré admissible à la classe supérieure, ou qui, après la troisième année, n'est pas reconnu capable d'être placé dans un service actif, peut, sur la proposition du Conseil et par décision du Ministre, être maintenu une année de plus à l'École. Ce délai peut même être porté à deux ans en cas de circonstances graves et exceptionnelles ayant occasionné une suspension forcée de travail. Mais, dans aucun cas, un élève ne reste sur les cadres plus de cinq ans.

. . . .

Arrêté ministériel du 14 février 1852, concernant l'admission des élèves-externes.

Le Ministre des Travaux publics,

Vu les articles 4 et 5 du décret en date du 13 octobre 1851, fixant le régime de l'Ecole des ponts et chaussées,

Arrête :

Art. 1er. Les candidats qui se présenteront pour être admis comme élèves-externes à l'École des ponts et chaussées devront posséder les connaissances détaillées dans le programme joint au présent arrêté (1).

Art. 2. Les candidats nés en France devront être âgés de dix-huit ans au moins et de vingt-cinq ans au plus.

Ils devront prouver, par un certificat des autorités du lieu de leur résidence, qu'ils sont de bonne vie et mœurs.

Ce certificat et leur acte de naissance seront joints à la demande que les candidats devront adresser, avant le 1er août, au Ministre des Travaux publics, à l'effet d'être autorisés à subir les épreuves destinées à établir leur capacité.

Art. 3. Ces épreuves commenceront chaque année, à Paris, le 1er octobre, et seront terminées le 15 du même mois.

Elles auront lieu devant un jury composé de trois ingénieurs désignés par le Ministre, sur la proposition du Directeur de l'École.

Art. 4. Ces épreuves consisteront en compositions écrites, en exécution de dessins et en examens oraux.

Art. 5. La première épreuve sera une composition écrite sur un ou plusieurs sujets pris dans le programme des connaissances exigées.

La seconde sera l'exécution d'un dessin de géométrie descriptive et d'un lavis d'architecture.

Les sujets de ces compositions seront arrêtés par le jury.

Sur le vu de ces travaux préliminaires, le jury décidera s'il y a lieu d'admettre les candidats aux examens oraux.

Art. 6. Chaque candidat subira deux examens oraux sur les matières du programme.

On laissera un délai de cinq jours au moins entre ces deux examens.

Art. 7. Le jury dressera un procès-verbal constatant le résultat des diverses épreuves subies par les candidats; il donnera son opinion sur l'admissibilité de chacun d'eux.

Art. 8. Sur le vu de ce procès-verbal et de l'avis du Conseil de l'École, le Ministre fixera, chaque année, la liste des élèves externes admis *à suivre les cours oraux* (2) *et à participer aux travaux intérieurs de l'École.*

Art. 9. Seront dispensés des épreuves dont il vient d'être parlé,

---

(1) Voir ci-après le résumé de ce programme, p. 17.

(2) D'après une décision en date du 27 juillet 1854, il n'est plus nécessaire de passer des examens pour être admis à suivre les cours oraux.

les élèves de l'École polytechnique qui auront été déclarés admissibles dans un service public, ou qui, conformément au décret du 18 août 1851, auront obtenu un certificat de capacité.

Art. 10. Toutes les conditions imposées par les articles précédents seront également obligatoires pour les étrangers qui voudront être reçus à l'École des ponts et chaussées.

Toutefois, dans des circonstances exceptionnelles, et sur la proposition du Conseil de l'École, les candidats étrangers pourront être dispensés de l'accomplissement de tout ou partie de ces conditions par décision spéciale du Ministre (1).

Arrêté du 10 mai 1853, concernant l'enseignement et le classement des élèves-externes.

Le Ministre Secrétaire d'État au département des Travaux publics;

Vu les articles 4 et 5 du décret en date du 13 octobre 1851, fixant le régime de l'École des ponts et chaussées;

Vu l'arrêté ministériel en date du 14 février 1852, réglant les conditions d'admission des élèves-externes;

Arrête :

. . . .

. . . .

Titre II. — *Des élèves admis à participer aux travaux intérieurs de l'École.*

1re section. — Enseignement et classement.

Art. 6. Ces élèves seront, comme les élèves ingénieurs, classés par année d'études.

Art. 7. Ils participeront, pendant la durée de chaque session, aux mêmes études, leçons, exercices, manipulations, etc., que les élèves ingénieurs.

Toutefois, les compositions littéraires ne seront obligatoires que pour les élèves français. Les leçons de langues ne seront que facultatives pour tous les élèves externes.

Art, 8. Sur leur demande, les élèves-externes pourront obtenir, dans l'intervalle des sessions, l'autorisation de visiter les travaux qui s'exécutent sur les chantiers de l'État.

---

(1) Cette dispense ne s'accorde qu'aux candidats envoyés par leur gouvernement et officiellement pourvus d'une recommandation diplomatique.

Art. 9. Les élèves-externes concourront entre eux et par classe.

Art. 10. Le rang de mérite, dans chaque classe, sera déterminé, comme pour les élèves ingénieurs, d'après les degrés qui seront attribués aux résultats des concours, des travaux graphiques et autres, des examens oraux, et à l'assiduité aux cours et dans les salles d'étude.

Art. 11. Les règles qui fixent le minimum obligatoire pour que les élèves ingénieurs puissent passer d'une classe à l'autre ou être déclarés hors de concours, seront applicables aux élèves-externes.

Il en sera de même en ce qui concerne le délai accordé aux élèves ingénieurs par l'article 44 du décret du 13 octobre 1851, pour achever leur temps d'études.

Art. 12. Le classement sera arrêté par le Conseil de l'École.

Art. 13. Les élèves-externes qui, à la fin de leurs études, auront satisfait aux conditions indiquées ci-dessus, recevront un diplôme constatant le degré de l'instruction acquise par eux pendant la durée de leur présence à l'École.

2e section. — Discipline.

Art. 14. Les élèves-externes seront soumis à tous les règlements intérieurs de l'École.

Art. 15. Les punitions qui peuvent être infligées aux élèves externes sont les mêmes que celles auxquelles sont soumis les élèves ingénieurs.

Lorsqu'une exclusion temporaire aura été prononcée par le Directeur contre un élève-externe, celui-ci sera déféré au Conseil de l'École, et, de l'avis de ce conseil, son exclusion définitive pourra être prononcée par le Ministre.

3e section. — Dispositions générales.

Art. 16. Les élèves-externes se fourniront, à leurs frais, de tous les objets nécessaires pour les travaux intérieurs de l'École.

Toutefois, ils recevront gratuitement le papier avec timbre pour les travaux graphiques et le papier destiné à la rédaction des mémoires, devis, etc.

Il leur sera prêté gratuitement les divers objets et instruments que l'École met à la disposition des élèves ingénieurs.

Les élèves-externes seront, comme les élèves-ingénieurs, responsables des objets dont ils auront eu la jouissance.

RÉSUMÉ

du programme des connaissances exigées pour l'admission des élèves-externes (18 janvier 1864).

[On n'a pas cru devoir reproduire ici *in extenso* le texte même du Programme, que l'on peut se procurer gratuitement en en faisant la demande au Directeur de l'École des ponts et chaussées. Le résumé qui suit suffira pour en donner une idée très-exacte.]

1° Arithmétique.

Numération. — Opérations sur les nombres entiers. — Divisibilité. — Plus grand commun diviseur. — Nombres premiers.

Fractions. — Opérations sur les fractions. — Fractions décimales. — Réduction des fractions ordinaires en fractions décimales et réciproquement.

Système métrique.

Carrés, cubes, puissances. — Extraction de la racine carrée.

Proportions, progressions par quotient ou par différence.

Règles de trois, de société, d'intérêt, d'escompte, d'alliage, etc.

2° Géométrie.

Propriétés élémentaires de la ligne droite, des angles, des triangles. — Théorie des parallèles.

Propriétés élémentaires du cercle. — Mesure des angles.

Similitude des triangles et des polygones. — Propriétés des triangles rectangles.

Mesure des surfaces polygonales. — Mesure du cercle. — Polygones réguliers.

Plans et angles solides.

Polyèdres, conditions d'égalité, de symétrie, de similitude.

Mesure des volumes du prisme, de la pyramide, des polyèdres.

Cylindre, cône et sphère.

3° Algèbre.

Opérations algébriques.

Résolution des équations du premier degré à une ou plusieurs inconnues.

Résolution des équations du second degré à une inconnue.

Arrangements, permutations, combinaisons. — Binome de Newton dans le cas de l'exposant entier et positif.

Logarithmes considérés comme exposants.

Théorie générale des équations. — Résolution des équations numériques. — Racines commensurables. — Méthode d'approximation de Newton.

4° Trigonométrie rectiligne.

Lignes trigonométriques. — Relations entre les lignes trigonométriques d'un

même arc. — Sinus, cosinus, tangente de la somme et de la différence de deux arcs. — Multiplication et division des arcs.

Manière de rendre les formules algébriques calculables par logarithmes.

Construction et usage des tables de sinus.

Résolution des triangles rectilignes.

5° Géométrie analytique.

Application de l'algèbre à la géométrie. — Construction géométrique des formules simples.

Coordonnées. — Emploi des équations pour représenter des lignes, des surfaces.

Équation du premier degré à deux variables.— Problèmes sur la ligne droite.

Équation générale du second degré à deux variables. — Discussion. — Partage des courbes du second ordre en trois genres. — Réduction de l'équation générale à sa forme la plus simple.

Tangentes, asymptotes, centre, diamètres.

Étude spéciale de l'ellipse, du cercle, de la parabole, de l'hyperbole. — Diamètres conjugués. — Théorèmes d'Apollonius.

Sections planes du cône droit à base circulaire.

Coordonnées polaires.

Géométrie analytique à trois dimensions. — Problèmes sur la ligne droite et le plan en supposant les axes rectangulaires.

6° Géométrie descriptive.

Méthode des projections. — Conventions adoptées pour le tracé des épures.

Problèmes sur la ligne droite et le plan.

Plans tangents aux surfaces coniques, cylindriques et de révolution.

Notions sur les surfaces développables et les surfaces gauches.

Intersection des surfaces coniques et cylindriques. — Intersection de deux surfaces de révolution dont les axes se rencontrent.

Applications de la géométrie descriptive.

Représentation par plans, coupes et élévations.

Projections cotées.

Perspective conique et cavalière.

Tracé des ombres.

Coupe des pierres. — Principales formes de voûtes en berceau et leur appareil. — Arches biaises. — Voûtes sphériques, voûtes d'arêtes, voûtes en arc de cloître, lunettes. — Tracé des épures et taille des pierres.

Coupe des bois. — Assemblages, combles, escaliers.

7° Calcul différentiel.

Fonctions analytiques. — Méthode infinitésimale. — Fonction dérivée. — Différentielle. — Fonctions de fonctions. — Différentiation des fonctions simples et des fonctions inverses.

Notions sur les séries. Conditions de convergence.

Dérivées et différentielles des divers ordres.

Dérivées et différentielles partielles d'une fonction par rapport à plusieurs variables. Différentielle totale.

Série de Taylor. Développement des fonctions simples. Extension à une fonction de plusieurs variables.

Etude spéciale des fonctions circulaires. — Formules de Moivre. — Formules d'Euler.

Maxima et minima des fonctions d'une ou de plusieurs variables.

Vraie valeur des fonctions qui se présentent sous une forme indéterminée.

Tangentes aux courbes dans le plan et dans l'espace. — Plans tangents aux surfaces.

Différentielle de l'aire d'une courbe, de l'arc.

Courbure. — Rayon de courbure, développée. — Plan osculateur des courbes dans l'espace.

Notions sur la courbure des surfaces.

8° Calcul intégral.

Procédés divers d'intégration.

Intégration des fonctions rationnelles, des fonctions algébriques contenant un radical carré, des fonctions exponentielles, logarithmiques, circulaires. — Emploi des séries.

Intégrales définies.

Différentiation sous le signe $\int$

Intégration des fonctions de deux ou plusieurs variables. — Conditions de possibilité.

Formation des équations différentielles. Équations linéaires à coefficients constants.

Quadrature et rectification des courbes. Cubature des solides.

Application du calcul intégral à la recherche du centre de gravité et des moments d'inertie des solides.

Notions sur le calcul des différences.

9° Mécanique.

Cinématique.

Du mouvement d'un point. — Vitesse. — Courbe des espaces.

Mouvement élémentaire d'un solide. — Axe instantané de rotation et de glissement. — Cas particuliers.

Composition des mouvements élémentaires.

Mouvement relatif.

Accélération totale. — Accélération dans le mouvement relatif.

Application de la cinématique aux principales transformations de mouvement. — Engrenages, courroies, bielles et manivelles, parallèlogramme de Watt.

Statique et dynamique.

Principes fondamentaux.

Mouvement d'un point matériel.

Équilibre d'un point.

Équilibre d'un système invariable.

Théorème du travail virtuel.

Théorie des couples.

Équilibre des systèmes pesants.

Équilibre des machines simples.

Dynamite des systèmes. — Théorème de d'Alembert. — Théorème sur le mouvement du centre de gravité. — Théorèmes généraux des quantités de mouvement et des forces vives.

Mouvement d'un solide autour d'un axe fixe.

Travail des forces dans les machines. — Résistances passives. — Problèmes sur le frottement de glissement.

Choc direct de deux sphères.

Actions mutuelles des corps tournants. — Rôle des volants dans les machines.

10° PHYSIQUE.

Propriétés générales des corps. — Étendue, divisibilité, porosité, élasticité, pesanteur. — Mesure des longueurs et des poids.

Hydrostatique. — Pression dans les liquides et les gaz. — Principe d'Archimède, aérostats, corps flottants. — Vases communiquants, baromètres. — Densité des liquides et des solides. — Pression et pesanteur dans les gaz. — Loi de Mariotte, mélange des gaz. — Manomètres. — Machine pneumatique et de compression. — Pompes, siphons.

Chaleur. — Dilatation, rayonnement, conductibilité. — Dilatation des solides, des liquides et des gaz. — Thermomètres. — Changement d'état, propriétés des vapeurs. — Densité des gaz et des vapeurs. — Hygromètres, psychromètres, pluie, brouillards et rosée. — Chaleurs spécifiques des solides, des liquides et des gaz. — Unité de chaleur. — Chaleurs latentes. — Calorimètres. — Sources de chaleur ou de froid. — Chaudières à vapeur. — Chauffage à l'eau chaude et à la vapeur.

Électricité statique. — Électrisation par frottement et par influence. — Attraction et répulsion. — Étincelle. — Conductibilité électrique. — Pouvoir des pointes. — Electroscopes, machines électriques. — Electricité atmosphérique, paratonnerre.

Magnétisme. — Aimants naturels et artificiels. — Action magnétique du globe.

Électricité dynamique. — Sources chimiques d'électricité. — Piles. — Courants. — Galvanoscopes. — Piles thermo-électriques. — Action des courants sur les aimants et sur eux-mêmes. — Electro-aimants. — Induction. — Interruption des courants. — Principes de la télégraphie électrique, des moteurs électriques, de la lumière électrique.

Optique. — Propagation de la lumière. — Intensité. — Photométrie. — Réflexion. — Miroirs plans ou sphériques, images, foyers. — Goniomètre optique. — Réfraction. — Réflexion totale. — Mirage. — Lentilles, foyers. — Dispersion par les prismes. — Spectre. — Couleurs simples et composées. — Dispersion par les lentilles. — Irisation des images. — Achromatisme des

prismes et des lentilles. — Instruments d'optique. — Lanterne magique, microscope, chambre obscure, chambre claire, loupes, besicles. — Lunette astronomique, objectifs, oculaires, axe optique, grossissements, champ, diaphragmes, clarté. — Lanternes catadioptriques.

11° Chimie.

Préliminaires. — Corps simples et composés. — Cristallographie. — Loi des proportions multiples en poids ou en volumes. — Equivalents. — Métalloïdes et métaux. — Composés binaires et multiples. — Nomenclature et notations chimiques.

Métalloïdes.

Oxygène.

Hydrogène. — Eau, déliquescence, efflorescence, solubilité des gaz. — Eau oxygénée.

Azote. — Air atmosphérique. — Acide azotique. — Protoxyde d'azote, bioxyde d'azote. — Acide azoteux et hypoazotique. — Ammoniaque.

Soufre. — Acide sulfureux. — Acide sulfurique. — Acide sulfhydrique.

Chlore. — Acide chlorhydrique. — Acide chlorique.

Iode, fluor, brôme.

Phosphore. — Allumettes chimiques. — Acide phosphorique.

Arsenic. Bore.

Silicium. — Silice, — Acide hydrofluosilicique.

Carbone. — Charbons. — Noir animal. — Acide carbonique. — Eaux gazeuses. — Oxyde de carbone. — Acide oxalique. — Hydrogènes carbonés. — Sulfure de carbone. — Cyanogène.

Métaux.

Généralités. — Alliages. — Sels. — Cristallisation. — Solubilité. — Lois des réactions des acides, des bases et des sels. — Caractères généraux des sels. — Classification des métaux.

Potassium. — Potasse. — Sels de potasse. — Carbonate de potasse. — Alcalimétrie. — Azotate de potasse. — Poudre à tirer. — Chlorate de potasse.

Sodium. — Soude. — Sels de soude. — Carbonate, sulfate, azotate de soude. — Borax. — Sel marin.

Sels ammoniacaux.

Baryum. — Baryte. — Sels de baryte.

Calcium. — Chaux. — Sels de chaux. Carbonate, sulfate et phosphate de chaux. — Chlorure de calcium.

Magnésium. — Magnésie. — Sels de magnésie.

Aluminium. — Alumine. — Sels d'alumine. — Aluns. — Argiles.

Manganèse. — Sels de manganèse. — Manganates.

Fer. — Oxydes de fer. — Sels de fer. — Pyrites. — Chlorures et sulfates de fer. — Bleu de prusse. — Métallurgie du fer.

Nickel. — Maillechort.

Zinc. — Oxyde de zinc. — Sels de zinc.

Étain. — Acide stannique.

Plomb. — Oxydes de plomb. — Sels de plomb. — Céruse. — Peinture.

Cuivre. — Bronze, laiton.
Mercure.
Argent. — Sels d'argent. — Azotate d'agent.
Or. — Monnaies d'or et d'argent.
Platine. — Chloroplatinates.

12° Architecture.

Construction, forme et proportions des ordres d'architecture, des arcades, des portes, des fenêtres, des soubassements, des attiques, des frontons.

13° Dessin.

Les candidats devront prouver qu'ils sont exercés à la pratique du dessin linéaire, du dessin topographique et du dessin à l'encre de Chine.

DEUXIÈME PARTIE. — SIMPLES AUDITEURS DES COURS ORAUX.

Décision ministérielle du 29 octobre 1855.

Art. 1er. Les personnes autorisées à suivre les cours oraux de l'École, et munies de cartes délivrées par le Directeur, ne seront admises à l'École qu'aux heures des cours.

Elles devront y être rendues aux heures indiquées par les règlements. La leçon commencée, personne n'y sera plus admis.

Art. 2. Le Directeur de l'École pourra interdire l'entrée des cours à toute personne qui aurait troublé l'ordre aux leçons. Il sera immédiatement rendu compte au Ministre des mesures de cette espèce prises par le Directeur.

Art. 3. On ne constatera la présence aux leçons que des élèves envoyés par les administrations publiques. Ces élèves pourront seuls être autorisés à passer des examens.

Dans le cas où ils le demanderaient, l'administration de l'École pourra leur ouvrir la bibliothèque.

Nomenclature des cours de l'École des ponts et chaussées auxquels est admis le public.

1. Cours de mécanique appliquée : 1° Résistance des matériaux ; 2° Hydraulique.
2. Cours de minéralogie et de géologie.
3. Cours d'économie politique.

4. Cours d'hydraulique agricole.
5. Cours de routes.
6. Cours sur les procédés généraux de construction.
7. Cours de ponts.
8. Cours de navigation intérieure.
Cours de machines à vapeur.
10. Cours de chemins de fer.
11. Conférences sur l'exploitation des chemins de fer.
12. Cours de travaux maritimes.
13. Cours d'architecture.
14. Cours de droit administratif.
15. Cours de chimie appliquée.

Indépendamment des cours et conférences désignés ci-dessus, d'autres conférences sont faites sur :

La pisciculture,
La télégraphie électrique,
La photographie,
L'assainissement des villes, etc.

N° 2

LES CHEMINS DE FER MÉTROPOLITAINS DE LONDRES

NOTICE

Par M. SALLE, ingénieur des ponts et chaussées (1).

I. — Description générale des tracés, plans et profils en long.

Plan général du réseau métropolitain. — Le premier tronçon du Metropolitan Railway a été achevé en 1863. On avait commencé à créer, en partie à ciel ouvert, une station avec dépôt à Edgware Road (2), puis, pendant qu'on se reliait vers l'ouest avec le Great Western, en avant de la grande gare de Paddington, on s'établissait en souterrain sur l'axe de la chaussée des deux grandes ar-

(1) Une commission nommée en 1871 par M. Léon Say, alors Préfet de la Seine, pour étudier les moyens pratiques de dégager à Paris les grandes artères de circulation, trop souvent encombrées, délégua quelques-uns de ses membres pour se rendre compte, sur place, de la façon dont la même question avait été résolue à Londres. M. Salle, ingénieur des ponts et chaussées attaché aux travaux de la compagnie du chemin de fer du Nord, fut prié par cette sous-commission d'aller à l'avance recueillir des documents qui lui permissent de se faire, en peu de temps, une idée juste des conditions d'établissement et d'exploitation des chemins de fer métropolitains de Londres. — La notice que nous publions est la reproduction du rapport dans lequel M. Salle a consigné, au retour, les renseignements recueillis. Nous en avons obtenu communication de M. le Préfet de la Seine. E. M.

(2) Voir le plan d'ensemble de Londres, publié dans les *Annales*, 1874, Pl. 2.

A Fig. 1. *Profils en long du Métropolitain et des lignes qui en dépendent*

Moorgate Street — Aldersgate Street — Farringdon Street — King's Cross — Gower Str. — Portland Road — Baker Street — Edgware Road — Paddington Praed Street — Bayswater — Nottinghill Gate — High Street Kensington — Gloucester Road — South Kensington — Sloane Square — Victoria — St James Park — Westminster Bridge — Charing Cross — Temple — Blackfriars — Mansion House

A — F — G — H — I — K

Pentes et Rampes

Kilomètres 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 — 18019m,30

Ludgate hill — B — L — M — E — D — 663m,43 — 385m — 508m,91

Moorgate Street — Aldersgate Street — Farringdon Street — King's Cross — A — B — C — D — E

Pentes et Rampes

Kilomètres 0 1 2 — 2911m,76

P — Swiss Cottage — Marlborough Street — St John's Wood Road — Baker Street — F — 3131m,30 — 3 2 1 0

R — Hammersmith — Shepherd's Bush — Latimer Road — Notting hill — Westbourne Park — Royal Oak — Bishop's Road — G — 6155m,68 — 6 5 4 3 2 1 0

T — West Brompton — Earls Court — O — Gloucester Road — South Kensington — I — 2435m,63 — 2 1 0 Km

S — Earls Court — O — H — 2096m,30 — 2 1 0

A Échelles { des longueurs 0m,0167 pour 1km (1/60000) — 0 500 1 2 3km
{ des hauteurs 0m,001 pour 1m — 0 5 10 20 30 40 50m

Fig. 2. *Plan de la Station découverte de Praed Street (Paddington)*

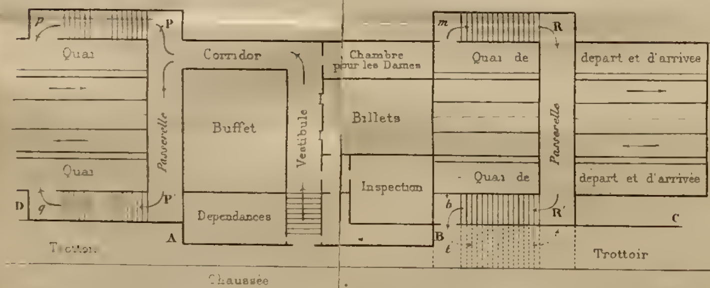


Fig. 3. *Station souterraine de Baker Street*



Fig. 4. *Station de Portland Road*

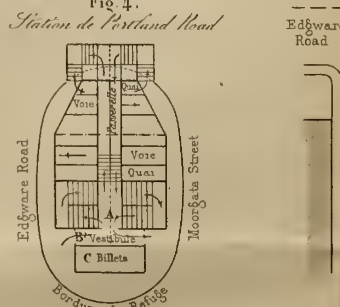
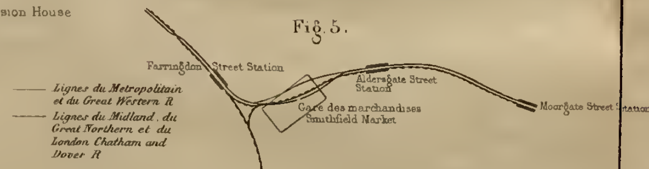


Fig. 5.



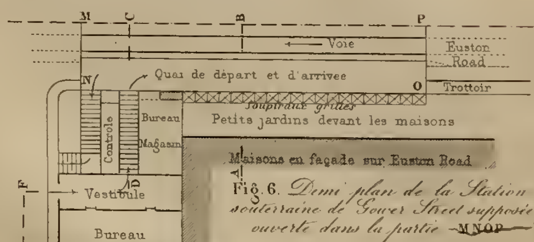


Fig. 6. *Demi plan de la Station souterraine de Gower Street supposée ouverte dans la partie MNOP*

A Fig. 7. *Demi coupe suivant AB* | *Demi coupe suivant CDEF*



Gravé par E. Pérot

R

Quai

départ et d'arrivée

Section souterrai

Mansion House

Passerelle

Quai

départ et d'arrivée

D q R' C

Ligi
et d

Ligi
Gres
Lona
Dov

Trottoir

Trottoir

r E. Pérot

tères, Marylebone Road et Euston Road, courant en ligne presque droite de l'ouest à l'est.

On se préoccupait alors beaucoup des dépenses énormes auxquelles on serait conduit en attaquant les maisons, et l'on fut heureux de profiter de cette large chaussée sous laquelle on pouvait s'établir sans compromettre les propriétés riveraines, en prenant maintes précautions pour entraver le moins possible la circulation. Sous ce souterrain continu de 2 milles environ (3.250 mètres), on établit trois stations, Baker Street, Portland Road et Gower Street. On atteignit ainsi King's Cross, en avant des grandes gares terminus du Midland Railway et du Great Northern. Là fut établie une station à ciel ouvert, à partir de laquelle s'infléchissant vers le sud et ne pouvant plus suivre de grande rue tracée dans la direction convenable, on dut en passer par des expropriations et démolitions de maisons sur une assez grande étendue, obtenant en compensation des sections à ciel ouvert.

On arriva de la sorte à la station de Farringdon Street, ayant construit d'Edgware Road Station à Farringdon Street Station une longueur de 5.097^{m},69.

Cette première section, créée sous l'impulsion financière et, en grande partie, au profit du Great Western, avait ses souterrains et ses tranchées établis pour la double voie à grand écartement, spéciale au Great Western. Dans les premiers temps, chaque voie fut posée à trois rails formant le grand et le petit écartement. Les wagons du Metropolitan étaient de la petite largeur. Depuis, le Great Western a modifié en grande partie son matériel, et il ne circule plus sur le Metropolitan, en fait de wagons de cette dernière compagnie, que ceux de petit écartement. Le troisième rail a donc été enlevé et il ne reste, comme trace de l'ancienne construction, que la largeur exceptionnelle de la plate-forme et des ouvrages sous lesquels elle est établie.

A peine la section que nous venons de décrire était-elle

terminée que les compagnies du Midland et du Great Northern Railway entrèrent en pourparlers avec le Metropolitan, pour à leur tour profiter de l'accès obtenu, grâce à lui, vers la Cité. On construisit en conséquence, un peu en avant de King's Cross, trois branches, la plus à l'ouest descendant des voies du Midland, les deux autres reliant celles du Great Northern, l'une pour l'aller, l'autre pour le retour, et les trains de ces deux grandes lignes arrivèrent ainsi par des souterrains aboutissant à celui du Metropolitan Railway, à l'entrée même de la station de King's Cross. On ne tarda pas à reconnaître que l'admission des trains des deux compagnies dont il s'agit, pour lesquels une exactitude d'arrivée absolue ne pourrait être obtenue, serait une cause de trouble et de danger pour l'exploitation spéciale du Metropolitan. De là la nécessité d'établir de King's Cross à Farringdon Street un second souterrain à double voie uniquement affecté au service des deux grandes lignes.

Le Great Western, une fois à Farringdon Street, jugea bon de s'y arrêter, ne dépassant cette station que de la faible longueur nécessaire pour se placer sous Smithfield Market et y établir sa gare à marchandises. Mais le Metropolitan résolut de continuer sa route vers le centre de la cité, Finsbury Circus, en même temps que le Midland, le Great Northern et le London Chatham and Dower Railway, ce dernier arrivant de la rive droite de la Tamise par le pont de Blackfriars, demandaient également à pousser leur ligne vers le même point. C'est pour atteindre ce résultat que les voies du Metropolitan et du Great Western, qui depuis King's Cross sont à la droite des voies du Midland et du Great Northern Railway, passent au-dessus de ces dernières et prennent leur gauche, un peu en avant de Farringdon Street Station. De Farringdon Street, Metropolitan Railway et Great Western voyageurs continuent leur route à gauche (tracé plein de la *fig.* 5, Pl. 1), posant une station à Aldersgate Street, une autre à Moorgate Street. Les mar-

chandises du Great Western s'arrêtent dans une gare à marchandises, créée à quelques pas de là sous le marché même de Smithfield. Les voies du Midland et du Great Northern passées à droite (tracé ponctué) reçoivent, par une branche dirigée vers King's Cross, les trains de London Chatham and Dower Railway destinés au nord et à l'ouest ; par une seconde branche, dirigée vers Moorgate Street, les trains de cette même ligne en destination de la Cité, et les trois compagnies ensemble, exploitant sur les mêmes voies, établies dans des tranchées ou souterrains parallèles et contigus à ceux du Metropolitan, atteignent Aldersgate Street et Moorgate Street.

A Moorgate Street s'arrête, vers la Cité, la ligne du Metropolitan Railway. On a entrepris les travaux du prolongement sous Finsbury Circus, à l'aide duquel on se reliera à la station terminus du Great Eastern, avec station à Liverpool Street : mais il est probable qu'on n'ira pas plus loin, les dépenses exorbitantes du prolongement jusqu'aux abords de la Tour ne paraissant pas en rapport avec les profits à tirer dudit prolongement.

De Farringdon Street Station à Moorgate Street Station, il y a lieu de compter un parcours de 1.169^{m},77, soit, d'Edgware Road, que nous considérons comme point de départ, au point d'arrivée actuel Moorgate Street, une longueur totale de 6.267^{m},46.

Les premiers mois d'exploitation ayant répondu aux espérances qu'on s'était formées, on songea à développer le réseau, à lui faire contourner Londres à l'ouest et au sud-ouest, et pendant que la compagnie du Metropolitan Railway se mettait en mesure de prolonger sa ligne de Paddington vers South Kensington, siége de l'exposition permanente, une autre compagnie sous le nom de Metropolitan District Railway se forma qui, partant du même South Kensington, se proposait de gagner les quartiers de Victoria et de Westminster, de suivre les bords de la Ta-

mise en profitant des travaux en train de se faire, pour établir ses tunnels sous le quai même, et d'arriver ainsi, en un second point de la Cité, aux abords de Mansion House.

Ne trouvant plus de grandes artères qu'on pût déblayer sur leur axe pour y établir le railway, en section forcément couverte, mais dans des conditions relativement économiques, instruit par l'expérience des inconvénients que présentait en pratique le parcours en souterrain continu, pensant d'ailleurs que d'abondantes recettes couvriraient sûrement leurs dépenses, quelles qu'elles fussent, le Metropolitan Railway prit franchement le parti de s'établir à travers les propriétés bâties, achetant les maisons et les démolissant, sauf de rares exceptions.

D'Edgware Road Station, la ligne du Metropolitan Railway s'établit donc, partie en souterrain, partie à ciel ouvert, le long de Praed Street et pose une station découverte, en face même de la grande gare du Great Western (station de Praed Street Paddington). Continuant sa direction vers l'ouest parallèlement à Uxbridge Road et presque toujours en section couverte, elle établit une station à Queen's Road Bayswater, puis, se retournant à angle droit, elle coupe Uxbridge Road, avec station du nom de Nottinghill Gate.

Du faîte de Nottinghill, la ligne courant du nord au sud, parallèlement à Church Street, descend vers High Street Kensington et pose une station à ciel ouvert en façade sur cette grande voie. Elle atteint ensuite le quartier de Brompton, avec station à Gloucester Road, et s'infléchissant vers l'est, gagne South Kensington et établit en ce point une station distante de 2 ou 300 mètres à peine du Museum Kensington et du bâtiment de l'Exposition.

Là s'arrête le Metropolitan Railway proprement dit dans son extension principale, dite de Nottinghill à Brompton. En partant du centre d'Edgware Road Station, on trouve jusqu'à la station de South Kensington $5.103^{m},12$, par suite, de Moorgate Street à South Kensington, ligne

principale, un parcours total de 6.267,46 + 5.103,12 = 11.370^{m},58.

Nous parlerons plus bas des lignes de moindre importance formant branches annexes du Metropolitan Railway. Nous passons à la description en plan du Metropolitan District.

Le Metropolitan District Railway a son point de départ réel à Gloucester Road (Brompton) où se trouve une station double, servant aux deux compagnies. Il marche parallèlement au Metropolitan Railway, avec tranchées et souterrains contigus, jusqu'à South Kensington, où se trouve également une station double. En réalité la partie comprise entre ces deux stations sur le District ne sert qu'à mettre en relation, d'une manière indépendante, avec South Kensington et le restant du District, les voyageurs venant de West London Line, par la branche que nous décrivons plus loin, qui part de ce dernier chemin à la station de West Brompton. Une autre branche amène à Kensington (High Street) du Metropolitan Railway les voyageurs de la même ligne partant soit de la station de West Brompton, soit de celle d'Addison Road. On peut regarder cette double branche comme une annexe du District et considérer celui-ci comme partant de la station de South Kensington, en prolongement direct du Metropolitan.

De South Kensington, le District Railway, partie à ciel ouvert, partie en section couverte, se dirige de l'ouest à l'est vers Sloane Square où s'établit une station ; de là, se redressant vers le nord, il atteint l'angle ouest de Victoria Street et pose une station en face de la grande gare de Victoria Railway. De nombreuses inflexions l'amènent à Broadway avec station du nom de Saint-James Park. Se développant sous Tothill Street, il passe en face de Westminster Hopital, à l'angle est de Victoria Street, et établit la station de Westminster Bridge à l'angle du quai et de Bridge Street Westminster.

A partir de ce point, il est construit sous le quai même, se courbant avec lui, plaçant une station à Charing Cross, au delà du pont de ce nom, une autre au Temple, en face de Norfolk Street, une autre enfin à Blackfriars Bridge. En ce point où cesse le quai, le District, abandonnant le bord de la Tamise, remonte en biais à travers les ruelles qui descendent rapidement de Old Fish Street à Upper Thames Street et vient établir sa station, terminus quant à présent, du nom de Mansion House, à l'angle de Cannon Street et de New Earles Street, nouvelle rue qui descend à Blackfriars, dans la direction même du railway souterrain.

De South Kensington à Mansion House, on peut compter approximativement 6.630 mètres. Comme le Metropolitan Railway, le District avait l'intention de poursuivre sa construction vers la Tour, jusqu'à Trinity Square, où il se serait relié avec le Metropolitan, arrivant par Minories et Houndsditch. Comme lui, il hésite à s'engager plus avant, craignant des dépenses d'expropriation surtout, hors de proportion avec les avantages à retirer de la fermeture du circuit. Il a fait des travaux considérables, quoique provisoires, pour pousser son terminus plus au nord, près de Mansion House, abandonnant, jusqu'à présent du moins, la continuation approuvée à travers les propriétés bâties qui s'étendent entre Cannon Street et Upper Thames Street. (Dans cette direction il a été obligé de faire immédiatement le passage en avant de la station nouvelle de Cannon Street, en attente d'un prolongement qui peut-être ne s'exécutera jamais.) Le circuit complet serait à peu près de 20.900 mètres. Il n'y a de construits et en exploitation que 11.370 + 6.630 = 18.000 mètres (un peu plus de 11 milles).

Londres s'étend au sud-ouest et au nord-ouest avec une telle rapidité que le Metropolitan Railway a cru faire une bonne opération en poussant une branche de Baker Street Station vers Saint-John's Wood et au delà, jusqu'à Swiss

Cottage; il en exploite une seconde d'Edgware Road vers Hammersmith. Le District, de son côté, ainsi que nous l'avons déjà dit, a relié sa ligne par une double branche avec West London Railway vers High Street Kensington et vers Gloucester Road. Il y a lieu de dire quelques mots de chacune de ces lignes secondaires.

La ligne de Saint-John's Wood n'est exploitée qu'à une voie. Partout où l'on est en souterrain, et c'est sur la majeure partie du parcours, la section n'a été construite que pour une voie. Partout où l'on est en tranchée et dans les stations, on a construit la plate-forme pour deux voies. Ces deux voies sont posées à chaque station et aux abords, afin d'y croiser les trains montants et descendants. Partant d'un quai découvert établi en arrière du souterrain de Baker Street Station et comme annexe à l'air libre de ladite station, on monte immédiatement en rampe forte et en alignement droit, sous les chaussées de Park Place, Brandfort Place, Taunton Place et Park Road, en haut duquel on pose la station dite de Saint-John's Wood Road. On suit ensuite presque sur leur axe Wellington Road et Finchley Road, plaçant une station du nom de Marlborough Road à l'entrée de Finchley Road, et une autre à son extrémité, du nom de Swiss Cottage. Ici se termine l'embranchement de Saint-John's Wood qui n'a pas répondu à l'attente de la compagnie. Il compte $3.141^{m},32$ et jusqu'à présent ne fait pas les frais des nombreux trains qui le parcourent à peu près vides.

La branche d'Hammersmith se sépare en pleine voie, à quelque distance d'Edgware Road Station, de la ligne principale du Metropolitan. S'engageant en souterrain sous Southwark Road, on pose, à la jonction du Great Western, une station du nom de Bishop's Road. Puis, traversant à niveau toutes les voies de cette grande ligne, on en suit quelque temps la plate-forme sur une voie indépendante, avec une station à Royal Oak, une autre à Westbourne

Park. C'est à cette dernière qu'on quitte le Great Western, descendant vers le sud-ouest; on se développe en tranchée ouverte dans les terrains non encore complétement bâtis qui bordent au nord-ouest les quartiers de Nottinghill et Kensington Parck : on établit une station, dite de Nottinghill, à l'extrémité de Ladbrocke Road et plus loin à Latimer Road. En ce point la ligne se bifurque. Une branche passe au-dessus de la ligne du West London Railway, s'inclinant vers le sud, coupe Uxbridge Road à son extrémité et établit une station à Shepherd's Bush, puis traversant New Road, passe au-dessus de Richmond and Kensington Railway pour atteindre Hammersmith, où a été construite une station toute voisine de celle du même nom établie sur le chemin précédent.

La branche du Metropolitan Railway que nous venons de décrire est tout entière à ciel ouvert. Elle est exploitée de concert avec le Great Western. D'Edgware Road Station jusqu'au terminus d'Hammersmith, on compte 6.135^{m},68.

Quant à l'autre branche, partant de Latimer Road, elle longe West London Railway, et se relie à ce chemin près de Royal Crescent, à Uxbridge Road Station, commune aux deux lignes. Établies, à partir de là, sur la même plate-forme, elles reçoivent en pleine voie la ligne de Kinsington and Richmond Railway qui vient d'Hammersmith et arrivent toutes trois ensemble à Addison Road Kensington. Cette branche a une longueur de 1.880 mètres environ. Nous ne l'indiquerons que pour mémoire, car elle est exploitée uniquement par le Great Western, mais les trains qui la desservent arrivent par le Metropolitan Railway jusqn'à Moorgate Street.

La branche du District Railway, qui relie West London Railway aux stations de High Street Kensington et South Kensington, est double et forme un x parfait à quadruple voie, la jonction entre la branche droite et celle de gauche se faisant vers le milieu du parcours, dans la partie où les

quatre voies sont parallèles et contiguës, en alignement droit, à la station d'Earls Court. D'Addison Road (Kensington), où aboutit déjà la branche de Latimer Road, la voie nouvelle suit la même plate-forme que le West London, pour s'en détacher au delà du Coal Depot, passer sous ce chemin et se courbant à angle droit atteindre Earls Court (cette portion n'est pas encore en exploitation). De la station d'Earls Court, elle poursuit sa direction jusqu'au delà de Cromwell Road, pour se courber de nouveau à angle droit et arriver parallèle au Metropolitan Railway, mais distincte, à la station double de High Street Kensington. Cette branche d'Addison Road à la station de raccordement compte environ 3.000 mètres, dont 2.096 mètres de construction neuve, à partir du point où elle se détache de West London. Elle est à ciel ouvert jusqu'au moment où elle arrive au contact du Metropolitan Railway, entrant à ce point dans un souterrain, contigu à celui qui précède la station d'High Street Kensington.

La deuxième branche se détache du West London un peu au-dessus de Richmond Road et s'établit en station, dite de West Brompton, à quelques pas de là, le long de cette avenue. Une courbe l'amène au pont de Warwick Road, parallèle et contiguë à la branche d'Addison Road. L'une et l'autre poursuivent leur route en ligne droite à travers Earls Court jusqu'au pont de Cromwell Road, où la branche qui nous occupe se sépare de sa voisine par une courbe symétrique, dirigée vers South Kensington, et arrive à la station de Gloucester Road, parallèlement au Metropolitan Railway. Elle se poursuit ensuite en souterrain parallèle et contigu à celui qui relie Gloucester Road, station du Metropolitan Railway, avec South Kensington. De West Brompton à South Kensington Station, on compte $2.435^{m},62$.

Les quatre voies des deux branches parallèles se réduisent à trois à Earls Court Station, avec les changements et

croisements à niveau indispensables. Le restant de la tranchée est occupé par les quais, sans élargissement de plate-forme spécial à la station.

Pour faciliter le service, on a reconnu nécessaire l'exécution d'une courbe de raccordement à ciel ouvert, permettant au District d'aller de Gloucester Road à High Street Kensington, sans remonter à la jonction d'Earls Court et sans emprunter les voies du Metropolitan Railway.

Il nous reste, pour compléter la description abrégée des extensions et raccords secondaires du Metropolitan Railway, à parler des trois branches allant de King's Cross rejoindre, la première, la plus à l'ouest, les voies du Midland Railway, les deux autres, le Great Northern Railway.

La première a une longueur de 1.100 mètres environ; elle a été construite par le Midland Railway; elle passe en souterrain sous la nouvelle gare à peine achevée en ce moment, et vient raccorder les voies de la grande ligne à une assez grande distance au-delà de Regents Canal; elle ne comporte pas de rampes exagérées.

Les deux autres branches servent, l'une aux trains d'aller, l'autre aux trains de retour de Great Northern. Presque complétement en souterrain et en rampe très-forte, elles ont, celle de l'ouest, aller, $585^{m},12$ de longueur, celle de l'est, retour, $504^{m},91$. Cette dernière coupe Baide Bridge et monte sous York Road jusqu'en face de Wharf Road, où elle pénètre sur la plate-forme de la grande ligne. L'autre, coupant Old Saint-Pancras Road, passe entre l'hôtel du Great Northern et la gare et se tient en souterrain jusqu'à Norfolk Street, s'établissant ensuite à ciel ouvert jusqu'à la jonction.

Courbes. — Toutes ces lignes principales et secondaires comportent de nombreuses courbes. Le plus grand nombre sont de 300 mètres de rayon et au-dessus. Quelques-unes descendent jusqu'à 200 mètres (10 chaines).

Au-dessous de ce rayon, que les constructeurs du Metropolitan paraissent avoir adopté comme un minimum très-admissible ne présentant pas d'inconvénients sérieux, mais au-dessous duquel il convient de ne pas descendre à moins de nécessité bien reconnue, on en compte quatre ou cinq de faible développement. Telles sont les courbes qui raccordent à King's Cross le Metropolitain Railway avec le Great Northern, 134 mètres de rayon; celle qui, à Baker Street, donne accès sur le Metropolitan aux voies de l'embranchement de Saint-John's Wood, 121 mètres; celle qui relie les deux branches de l'x unissant West London au Metropolitan Railway, 121 mètres; une autre enfin, et c'est la seule dont il y ait lieu de se préoccuper, parce que seule elle est parcourue en vitesse, entre Edgware Road et Bishop's Road, est de 175 mètres de rayon.

Déclivités. — Si nous considérons la ligne principale et que nous la suivions de Moorgate Street vers Mansion House (*fig.* 1, Pl. 1) (*), nous trouvons que la cote de départ à Moorgate Street est 78′ 87″, soit $24^{m},05$ au-dessus du plan de comparaison, adopté à 50 pieds ($15^{m},25$) au-dessous du niveau de la mer à Liverpool. On monte en rampe de $0^{m},005$ d'abord, puis de $0^{m},010$ par mètre jusqu'à Al-

---

(*) Légende de la *fig.* 1, Pl. 1 :

AFGHIK, ligne principale (Metropolitan et Metropolitan District Railways) de Moorgate Street à Mansion House.

ABC—CDE, ligne parallèle des Midland, Great Northern, London Chatam and Dover Railways, entre Moorgate Street et King's Cross, passant en C sous la ligne principale.

BL, jonction avec London, Chatam and Dover Railway à la station de Ludgate Hill.

DM—EN, jonction avec le Great Northern Railway.

FP, embranchement de Saint John's Wood.

GR, *idem* d'Hammersmith.

HOS, *idem* du Metropolitan District de Kensington High Street à Addison Road.

IOT, *idem* du Metropolitan District de South Kensington à West Brompton.

dersgate Street Station pour redescendre avec pentes de même déclivité jusqu'au delà de Farringdon Street Station, point bas relatif, $20^m,20$ au-dessus du plan de comparaison, $5^m,05$ seulement au-dessus du niveau de la mer. Une rampe de $0^m,010$ amène au palier de la station de King's Cross, à la cote $23^m,64$. Ces pentes et rampes sont de faible étendue et entrecoupées de nombreux paliers. De King's Cross à Edgware Road on s'élève par une longue rampe de 0,010 de près de 1.300 mètres de longueur jusqu'à Gower Street; on se tient en palier, pentes ou rampes courtes, égales ou inférieures à 0,010 sur le plateau qui s'étend de Gower Street Station à Baker Street Station, pour de là atteindre en rampe de 0,010 sur 610 mètres le faîte d'Edgware Road, cote 40,50, c'est-à-dire 25,25 au-dessus du niveau de la mer.

De ce faîte on descend en pente de 0,010 sur Praed Street (Paddington), puis on plonge en pente de 0,0133 sur 314 mètres, pour remonter en rampe de 0,010 sur le plateau de Notting hill Gate, où l'on se tient assez longtemps en palier à la cote $34^m,77$. De Notting Hill Gate Station, la ligne descend sur 800 mètres en pente de **0,0143** vers High Street Kensington Station, dont la cote n'est plus que $22^m,72$. On continue à descendre de High Street Kensington vers la vallée de la Tamise, d'abord à pente très-roide de **0,143** par mètre sur 346 mètres, puis plus doucement jusqu'à Gloucester Road Station, où l'on atteint la cote 15,25, niveau de la mer. On se tient en palier, pentes et rampes très-douces, jusqu'à South Kensington Station, d'où le Metropolitan District Railway part à la cote 15,48. De South Kensington on descend d'une manière presque continue en pentes de 0,006, 0,005 et même 0,004, seulement jusqu'à Sloane Square Station, où l'on atteint la cote $13^m,12$ et jusqu'à Victoria Station, où l'on se trouve à la cote $12^m,43$, c'est-à-dire près de **3** mètres au-dessous du niveau de la mer. Le profil remonte légèrement vers Saint-

Jame's Park et Westminster Bridge, avec pentes de 0,0033, 0,0040 et 0,0050. On est à l'arrivée sur le quai à 0,15 près au niveau de la mer à Liverpool. On reste à très-peu près à ce niveau avec de grands paliers, des rampes et pentes très-courtes, ne dépassant pas 0,005 jusqu'à la station de Blackfriars, d'où l'on s'élève à 0,010 jusqu'à l'entrée de la station de Mansion House, qui se développe elle-même en rampe de 0,003, à la cote finale de 20^{m},82.

On voit qu'en résumé la rampe la plus forte sur la ligne principale est de 0^{m},014 par mètre sur une longueur totale de 11 à 1.200 mètres pour un parcours complet de 18.000 mètres.

Les pentes et rampes sur les lignes secondaires de Paddington à Hammersmith, de Latimer Road à Addison Road, d'Addison Road à High Street Kensington et de West Brompton à South Kensington sont généralement faibles. On n'en trouve pas de supérieure à 0,010, sauf sur la branche du Latimer Road à Addison Road, où l'on atteint sur une faible longueur 0,014, et sur la branche d'Addison Road à High Street Kensington, où l'on trouve deux déclivités de 0,016 sur 285 mètres et une de 0,014 sur 300 mètres.

Il n'en est pas de même des déclivités de l'embranchement de Saint-John's Wood ni des branches de raccord du Midland Railway et du Great Northern Railway. De Baker Street où l'on part à la cote 35^{m},72, on atteint Saint-John's Wood Station à la cote 47^{m},73, à la suite d'une rampe de 0,011 sur 440 mètres et de 0,023 sur 287 mètres. On monte à Marlborough Road Station par une rampe de 0,016 sur 650 mètres. On n'a plus à partir de là que des rampes inférieures à 0,010 jusqu'à Swiss Cottage, sauf une très-courte de 0,0125 aux abords de cette station terminus. La cote en haut de Swiss Cottage Station est 66^{m},03 au-dessus du plan de comparaison, 51 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Les rampes maxima des branches de raccordement du Metropolitan Railway à King's Cross avec les voies du Great Northern sont, pour le raccord à l'ouest (aller) 0,0208 sur 354 mètres, et à l'est (retour) 0,0218 sur 378 mètres. Les voies, qui de King's Cross amènent Midland, Great Northern et London Chatham and Dower Railway vers Farringdon Street, plongent en pente de 0,010 sous celles du Metropolitan et après le passage, remontent en rampe de 0,025 sur 225 mètres à la station de Farringdon Street; la branche de Chatham and Dover gagne Ludgate Hill Station par une rampe plus forte encore, 0,026 sur 346 mètres.

En résumé les constructeurs du Metropolitan ne paraissent pas s'être préoccupés outre mesure des déclivités à adopter. Pour une ligne parcourue à vitesse moyenne (40 kilomètres à l'heure au maximum), avec des arrêts toutes les deux ou trois minutes, avec des trains de cinq à huit voitures, devant contenir au plus en temps ordinaire la moitié des voyageurs qu'on peut y admettre, sans bagages ni messageries, l'embarras de monter des rampes supérieures à 0,010 forcément courtes ne pouvait être considéré comme sérieux. On s'est relevé ou abaissé suivant les circonstances locales, ne s'abaissant, en cas de souterrain sous chaussée, que juste de la quantité nécessaire, 0,30 à 0,45, pour permettre le rétablissement du pavage ou du macadam; en cas de souterrain sous maisons démolies, pouvant être reconstruites, que de ce qui est indispensable pour en permettre la reconstruction, même sans sous-sol; en cas enfin d'égouts et de conduites d'eau et de gaz, s'établissant à un niveau assez élevé ou assez bas pour qu'il soit possible de passer au-dessus ou au-dessous d'eux sans changer le niveau de leur radier, n'hésitant pas d'ailleurs à modifier la section souterraine du railway, de manière à réduire la hauteur de vide à 13′ 6″ (4^{m},12), minimum admis entre le rail et le plafond comme nécessaire et suffisant.

II. — Sections adoptées. Mode de construction. Particularités y relatives.

Sections transversales. — Nous avons dit déjà que le Metropolitan Railway a renoncé de bonne heure à chercher de grandes rues à peu près droites pour s'établir sous l'axe de leur chaussée. Ce cas ne se présente d'une manière continue que d'Edgware Road à King's Cross, le long de Mary-le bone Road et d'Euston Road, sur plus de 3 kilomètres. Dans ces conditions, en effet, on était forcément en souterrain avec stations également en souterrain, peu éclairées, assez mal ventilées et l'on se trouvait dans l'obligation absolue de ne développer sur cette longueur, relativement considérable, exigeant, arrêts compris, un temps de parcours de 12 à 15 minutes, ni fumée, ni gaz, ni vapeur. Le restant de la ligne, de King's Cross à Moorgate Street, plus tard d'Edgware Road à South Kensington et enfin de South Kensington à Mansion House, étant établi dans des conditions notablemeut différentes et d'une exploitation plus commode, la portion primitive est devenue une véritable exception, entraînant une gêne réelle, et l'on a fait depuis quelques années des efforts considérables pour l'améliorer. Ainsi, on a en grande partie découvert la station de Portland Road; on a acheté une ou deux maisons latérales qu'on a démolies et en place desquelles on a fait des appels d'air et de lumière sur le côté; on a enfin sous Euston Road, entre Gower Street et King's Cross, ouvert dans la voûte, de distance en distance, une série de trous circulaires tangents bardés d'un revêtement en fonte sur toute l'épaisseur de la voûte, et formant une longue fissure ovale (largeur $90^{m},0$, longueur $6^{m},50$) recouverte au niveau de la chaussée par des plaques en fonte évidées. C'est l'emplacement de refuges, établis sur l'axe d'Euston Road, axe qui, dans les grandes voies de Londres, relativement peu fré-

quentées, est généralement occupé par des places de voitures. Grâce à ces améliorations, les machines du Metropolitan et des autres compagnies, qui circulent dans cette partie du parcours, ne s'astreignent plus aux précautions des premiers temps et marchent avec le même conbustible, dans les mêmes conditions de condensation intermittentes que dans les autres parties mieux aérées.

De King's Cross à Moorgate Street et d'Edgware Road à Mansion House, on alterne entre des souterrains et des tranchées, et la partie souterraine ne semble pas dépasser plus de la moitié du parcours.

La portion construite en galerie souterraine par puits, comme un tunnel ordinaire, est peu considérable, à peine une centaine de mètres sur 3200 mètres dans la partie d'Edgware Road à King's Cross. On ne compte que 650 mètres environ en tunnel, dans la partie comprise entre King's Cross et Farringdon Street, et 260 mètres à peine dans la partie au delà, vers Mansion House, entre Notting Hill Gate et High Street Kensington. (Voir le profil en long, Pl. 1, *fig.* 1, portion hachée.)

Section en tunnel. — On avait bien dès l'abord établi en principe qu'à partir de 12 pieds ($3^{m},66$) au-dessus de l'extrados de la voûte, on pourrait construire en tunnel; mais à cette profondeur sous le sol naturel (profondeur qui déjà se rencontre peu fréquemment), il n'y avait pas à songer à conserver les maisons sous lesquelles on passait. Le sol de Londres, sableux et graveleux, est trop peu résistant pour que l'excavation en galerie à si faible distance des fondations de la maison supérieure n'en compromette pas la solidité. La maison étant achetée et démolie par la compagnie et le terrain livré nu à l'entrepreneur à forfait, on lui laissait toute liberté de choisir entre la section souterraine proprement dite et la section recouverte après coup et, presque partout l'entrepreneur, pour avancer plus vite et rendre son travail plus courant, plus facile, a préféré se

mettre franchement en tranchée et faire ensuite la voûte destinée à la recouvrir. Les ingénieurs, qui gagnaient à ce système de voir de plus près et mieux, comment étaient faites les maçonneries, ne s'y sont point opposés. Il fallut donc qu'on atteignît des profondeurs beaucoup plus grandes au-dessous du niveau des chaussées ou du sol naturel pour que, dans le premier cas, l'entrepreneur trouvât un avantage réel, pratique, à se mettre en tunnel et que, dans le second cas, mis en présence d'un terrain conservé bâti par la compagnie, il ne pût pas faire autrement que de s'établir en galerie. On comprend ainsi pourquoi la construction en tunnel a été assez rare, même sous les chaussées où l'on avait assez d'espace pour ne pas craindre le voisinage des murs et maisons. Et même, nous a-t-on assuré, il s'est rencontré un certain point de Notting Hill, où l'on a eu à regretter la construction par galerie. Les sables remplis d'eau qu'on a traversés se sont asséchés ; il y a eu dans toute la masse au-dessus et autour du souterrain comme un retrait, à la suite duquel de nombreuses maisons se sont crevassées, et la compagnie a eu, en plus des inconvénients d'un tunnel, tous les ennuis et toutes les dépenses d'une expropriation qu'elle avait espéré éviter.

Section couverte. — Partout où on s'est établi en tranchée, en la couvrant après coup, voici comment l'on s'est arrangé pour rendre moins sensibles les embarras que le travail entraînerait forcément pour la circulation. On ouvrait, sur une faible longueur de chaque côté de l'axe, une tranchée correspondant au pied-droit projeté, descendant du sol jusqu'à la profondeur assignée à la fondation. Ces deux tranchées étaient généralement blindées sur toute leur hauteur. Les déblais, retroussés à droite et à gauche, vers l'axe, étaient presque immédiatement enlevés au tombereau, la partie centrale restant non touchée et libre, tant pour les chantiers de maçonnerie que pour ceux de terrassement. On faisait la maçonnerie des fondations, béton, et l'on

montait jusqu'aux naissances celle des pieds-droits, briques ; à ce moment, on enlevait entre les deux tranchées sur une longueur restreinte, la masse de terre comprise entre le sol, les parois des deux tranchées et un niveau d'environ 1 mètre au-dessous de la clef de la future voûte (Voir *fig.* 5 de la Pl. 2).

Posant des cintres en fer reposant sur coins, avec chandelles verticales portées sur un patin saillant du béton de fondation, on clavait la voûte, on y faisait la chape en bitume et l'on remblayait immédiatement avec une partie des terres provenant du pâté central supérieur de la portion à voûter à la suite. De la sorte, on le voit, on n'obstruait avec la terre, les tombereaux et les matériaux de construction, qu'un espace restreint, pendant un temps relativement court ; car, une fois la voûte faite sur une certaine longueur, choisissant un endroit convenable, où les dégagements fussent faciles, on laissait, au point correspondant dans la voûte, une ouverture par laquelle se remontaient les terres du pâté central inférieur et se descendaient les matériaux nécessaires pour compléter les maçonneries, aqueduc de drainage central et radier, quand il était ordonné. Les terres chargées sur wagonnets venaient par le souterrain voûté, au fur et à mesure de leur enlèvement, se présenter sous l'ouverture, où des grues à vapeur les ramenaient au niveau du sol dans les tombereaux disposés pour les recevoir. Ces terres allaient, soit à une décharge publique, spécialement dans les trous considérables que font autour de Londres les fabricants de briques, soit en quelque point, remblais de chemins de fer ou autres, où l'entrepreneur savait qu'on en manquait. Plus tard, quand on s'est approché de la Tamise, soit à partir de Kensington, on les amenait au bord du fleuve et on les déchargeait dans des chalands, lesquels les remontaient en remblai du nouveau parc de Battersea, ou les descendaient vers Blackwall, pour l'installation des établissements récents où se manipulent toutes les déjections de Londres.

Tunnels

B. Fig. 1



B. Fig. 2

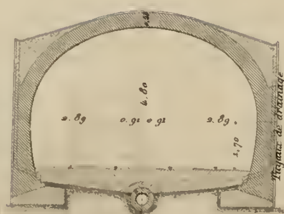
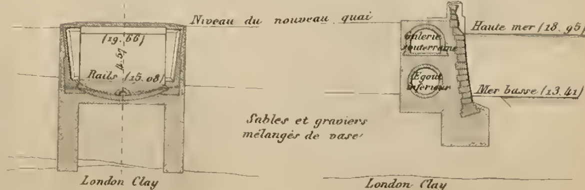


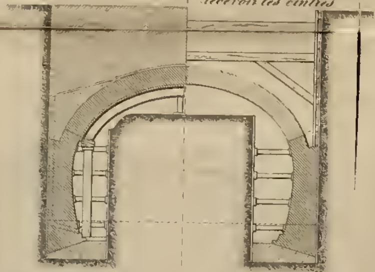
Fig. 3.
Coupe en travers du quai de la Tamise



B. Fig. 4.

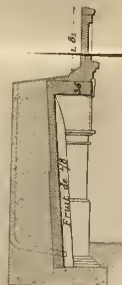


B. Fig. 5
Détails et mode de construction des voûtes
Voûte complète — Murs montés prêts à recevoir les cintres



Murs de soutènement

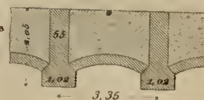
B. Fig. 6.



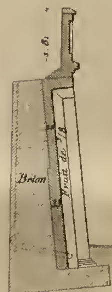
B. Fig. 7.



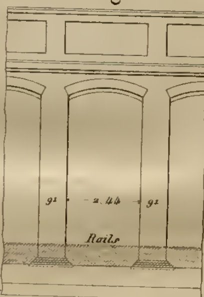
B. Fig. 7 bis



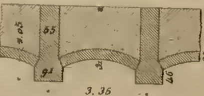
B. Fig. 13.



B. Fig. 14.



B. Fig. 14 bis

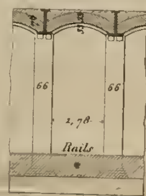


Sections couvertes avec poutres

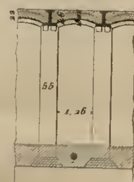
B. Fig. 8
Poutres grand modèle — Poutres petit modèle



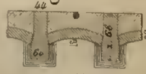
B. Fig. 9
Poutres grand modèle
Coupe longitudinale



B. Fig. 11.
Poutres petit modèle
Coupe longitudinale



B. Fig. 10. Plan



B. Fig. 12. Plan



A. Coupes transversales des poutres

Fig. 15

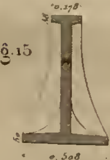
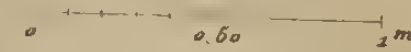


Fig. 16.



Echelle A de 0m 03 pour 1m



Echelle B de 0m 005 pour 1m

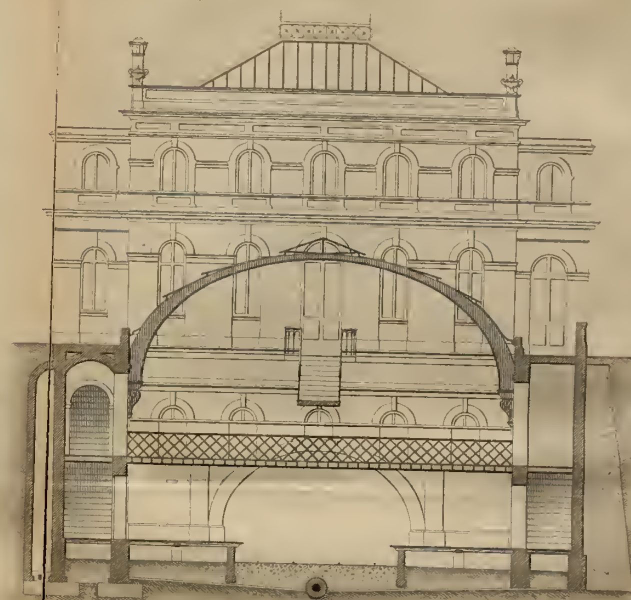


Station de Sloane Square

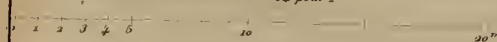
C. Fig. 17. Élévation sur la voie publique



C. Fig. 18 Coupe transversale suivant ABB'C'CD



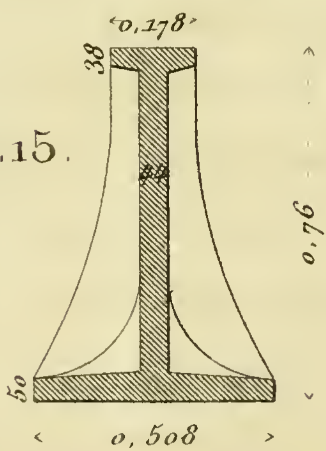
Echelle C de 0m 004 pour 1m

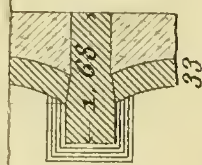


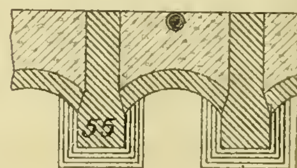
Gravé par E. Pérot

A. Coupes transversales. Plan

B. Fig. 12. Pla







3 pour 1^m

1^m

0 1 2

E

rot

Nature du sol. — Il y a lieu de dire qu'une bonne partie des déblais ainsi extraits ont été utilisés dans les travaux. Partout ou presque partout, sous une couche plus ou moins épaisse de terre végétale ou de terrain rapporté (dans la Cité et aux bords de la Tamise, cette couche supérieure a atteint 3 mètres et plus), on trouvait des couches de sable et de gravier plus ou moins imprégnés d'eau, lesquels, après passage à la claie, donnaient d'excellents matériaux de construction qu'on a utilisés pour faire du mortier et du béton. Dans certaines parties, spécialement vers Bayswater et Nottinghill Gate, on a trouvé, entre ces couches de sable et de gravier ou au-dessous d'elles, des argiles de bonne nature, avec lesquelles on a fait des briques très-convenables, cuites dans des fours en plein air, après broyage et malaxage de la terre et confection mécanique par machines *ad hoc* mues par la vapeur. C'est avec ces briques, toutes d'un jaune rouge ou d'un rouge vif comme les nôtres, que concurremment avec celles fabriquées et achetées à Londres même ou aux environs, on a fait tous les travaux courants de la ligne, ne réservant les briques d'un blanc jaune, très-résistantes et très-bien faites du Staffordshire, que pour former le parement des intérieurs et extérieurs des stations.

Les briques courantes revenaient à l'entrepreneur de 15 à 20 schellings le mille (25 francs en moyenne); les briques de choix atteignaient, rendues sur place, le prix élevé de 40 schellings (50 francs) le mille. Ces dernières, plus grosses et plus courtes que les nôtres, ont $0^m,216$ de longueur, $0^m,102$ de largeur et $0^m,0635$ d'épaisseur. Les briques faites à Londres ont été obtenues généralement avec des dimensions après cuisson assez rapprochées de celles ci-dessus pour permettre de raccorder le parement et de faire les remplissages en liaison convenable.

La fondation a été descendue jusqu'à la couche résistante et incompressible de sable graveleux pur, surmontant immédiatement l'argile de Londres (London Clay), argile

bleue, un peu glaiseuse, imperméable. En bien des points, on a atteint et entamé cet argile et l'on s'est assis sur elle en toute assurance. Ailleurs, et spécialement le long de la Tamise, l'interposition de couches vaseuses ou tourbeuses entre les sables supérieurs et le London Clay a fait craindre de ne trouver une résistance suffisante que sur cette argile même, et l'on a cru devoir descendre jusqu'à la couche de fond, fort bas au-dessous du rail, et s'y établir au prix des plus grands sacrifices. Il en a été ainsi sur bien des points, entre Westminster et Blackfriars Bridge et aussi, sur une certaine longueur, aux abords de Victoria Station, où l'on a rencontré les traces boueuses d'un ancien bras de la Tamise, qui faisait à une époque très-reculée une île du quartier de Westminster. En maints endroits enfin, craignant la poussée latérale des terres et le glissement des pieds-droits, on a jugé prudent de les relier par un radier général en briques formant voûte renversée fondée sur béton. (Voir *fig.* 3, Pl. 2.)

La *fig.* 1 de la Pl. 2 présente une section du tunnel. On lui a donné la hauteur maxima que comporte la section souterraine normale, c'est-à-dire 18 pieds ($5^m,50$) des rails à la clef. On a 5′ 6″ ($1^m,70$) jusqu'aux naissances, les pieds-droits formant un arc de cercle, dont le centre est à la naissance du pied-droit vis-à-vis, soit 25 pieds ($7^m,60$) de rayon. La voûte est en conséquence un plein cintre de $3^m,80$ (12′ 6″) de rayon. Pieds-droits et voûtes forment une enveloppe d'épaisseur uniforme de six rangs de briques, soit $0^m,66$, complétée, pour résister aux pressions possibles dans tous les sens, par un radier en voûte renversée, établi directement sur le sol de fondation ; ce radier compte quatre rangs de briques seulement, $0^m,44$, arc de cercle de $7^m,60$ de rayon (25′).

Section couverte avec voûte. — La *fig.* 2 de la Pl. 2 donne la section la plus fréquemment adoptée, celle qu'on emploie forcément quand on n'a au-dessus de soi qu'une épaisseur

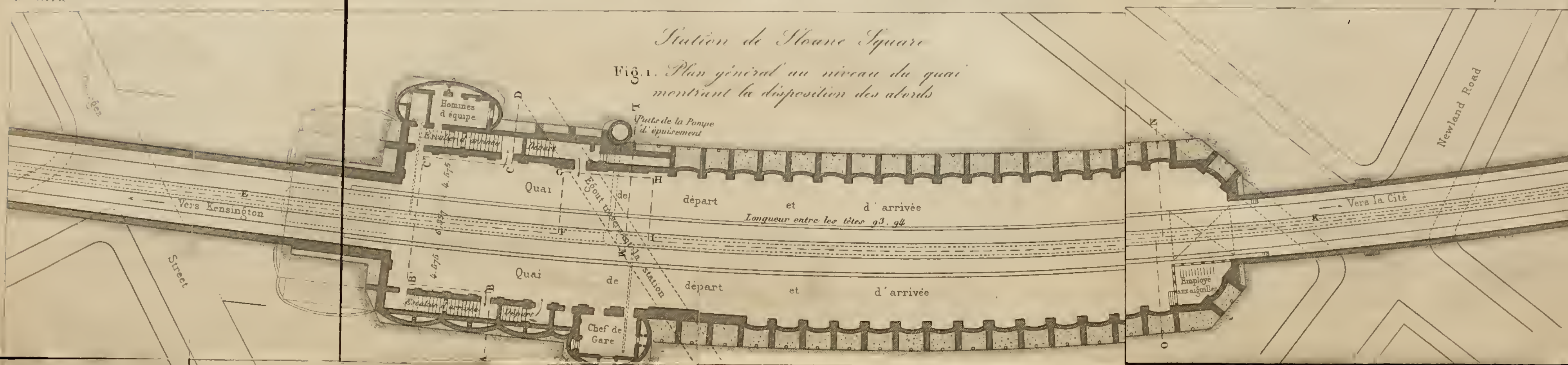
de terrain restreinte (18″ [$0^m,45$] suffisent et même moins pour les chaussées, sans traversée d'égouts ou de conduites), mais que nous avons dit déjà avoir été acceptée, en cas d'épaisseurs beaucoup plus considérables, alors qu'à la rigueur on eût pu se mettre en tunnel. On s'est réduit à 15′ 9″, soit $4^m,80$ sous clef, avec voûte en anse de panier à trois centres. On a toujours 25′ ($7^m,60$) aux naissances et 5′ 6″ ($1^m,70$) de hauteur de pieds-droits. La voûte est un rouleau d'épaisseur uniforme de cinq rangs ($0^m,55$) supporté par des pieds-droits de $0^m,66$ d'épaisseur aux naissances, épaisseur qui augmente jusqu'à $1^m,20$ au-dessus des reins et jusqu'à la fondation, par suite de la courbure intérieure. Les reins de la voûte sont chargés par un remplissage en béton. Les pieds-droits eux mêmes sont fondés sur une base en béton faisant saillie vers l'axe. La chape est formée d'une couche d'asphalte de $0^m,019$ d'épaisseur. On n'a généralement pas de radier. La maçonnerie de brique est bloquée contre la paroi verticale des fouilles; les planches de blindages n'ont pu être retirées qu'incomplétement.

Une pareille voûte a été calculée pour pouvoir porter au besoin des maisons, avec sous-sol, s'élevant de 30 pieds (9 mètres) au-dessus de la chaussée. Si, sur les terrains qui la surmontent, on désire bâtir un jour des maisons plus élevées, l'acquéreur du terrain est averti et le contrat d'acquisition lui laisse toute la responsabilité de sa future bâtisse. Mais il est arrivé de nombreux cas où l'on savait à l'avance que le terrain déblayé allait supporter des constructions spéciales plus hautes et plus lourdes; on a dû alors en passer par des voûtes beaucoup plus résistantes. C'est ce qu'indique la coupe 4 de la Pl. 2, $7^m,60$ entre pieds-droits, anse de panier, $4^m,80$ sous clef, neuf rangs de briques, soit 1 mètre d'épaisseur uniforme pour la voûte et les pieds-droits; sur les reins de la voûte, remplissage en béton et contre-mur en béton renforçant les pieds-droits de manière à leur donner 5 pieds ($1^m,53$) aux naissances; pas de

radier généralement. Il est arrivé des cas où la section renforcée ci-dessus décrite n'a été appliquée que par bandes, avec intervalles plus ou moins étendus en section ordinaire, comme celle de la *fig.* 2. L'architecte des maisons en projet l'a réclamé ainsi. Il s'arrangera pour placer ses murs de portée sur les parties renforcées.

Aux abords de Victoria d'une part et sur presque toute la longueur du quai, on était loin de trouver à 3, 4 ou 5 pieds au-dessous du rail (1 mètre à $1^m,50$) le sol de fondation résistant; il a fallu descendre sur bien des points pour trouver le gravier ou l'argile suffisamment solide à 10, 12 et 15 pieds au-dessous du rail. On cite certains points spéciaux où la fondation descend jusqu'à 24 pieds ($7^m,20$). Jusqu'à 9′ 6″, soit $2^m,90$ au-dessous du niveau du rail, même voûte et mêmes pieds-droits qu'à la *fig.* 1 de la Pl. 2; même radier qu'à la coupe 1 de la même planche; mais sous ce radier et sous les pieds-droits construits complétement en briques jusqu'à l'extrados de la voûte renversée, une couche de béton de 3 pieds ($0^m,91$) d'épaisseur. Là où il a été reconnu nécessaire de descendre la fondation proprement dite au-dessous de ce niveau, les pieds-droits seuls ont été poussés jusqu'à la cote requise, sur une épaisseur constante de 6 pieds ($1^m,80$) dans une tranchée fortement étayée et dont les parois, formées de sables boulants ou de vases coulantes, avaient été solidement blindées avec planches se recouvrant. Le creusement s'est fait en épuisant avec des pompes à vapeur. Il y a telle de ces tranchées entre Victoria Station et Saint-James (point le plus bas de la ligne, rail à près de 3 mètres au-dessous du niveau de la mer), où l'on arrivait à peine à se tenir à sec, avec deux fortes pompes débitant ensemble 4.000 gallons ou 1.800 litres à la minute. Sur le quai de la Tamise, on était moins gêné par les eaux; le quai était déjà fait et formait, jusqu'à un certain point, batardeau à l'heure de la haute mer; l'assiette du rail d'ailleurs était sensiblement relevée, puis-

Station de Sloane Square

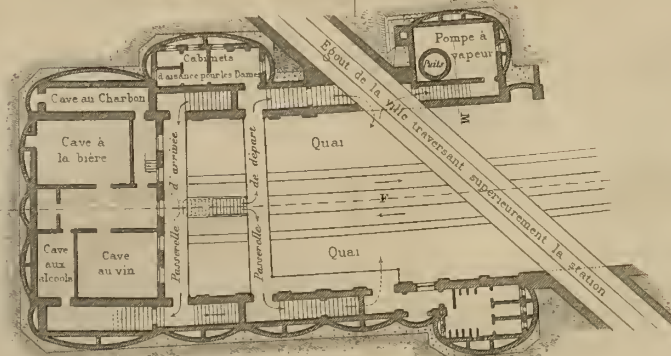


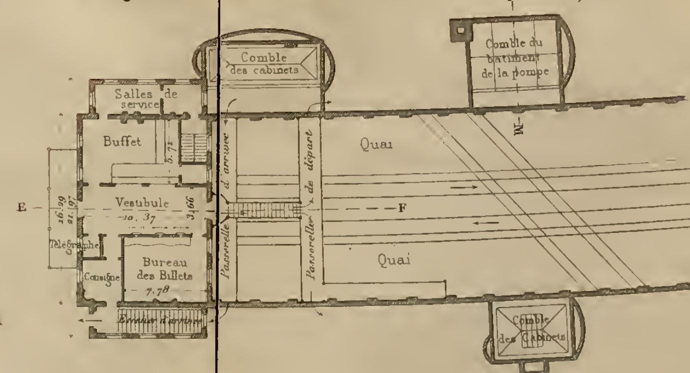


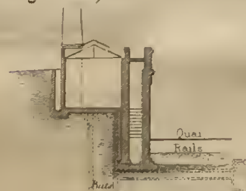










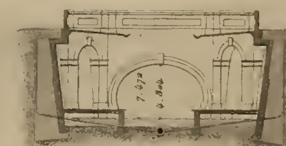


Echelle de 0m00192 pour 1m

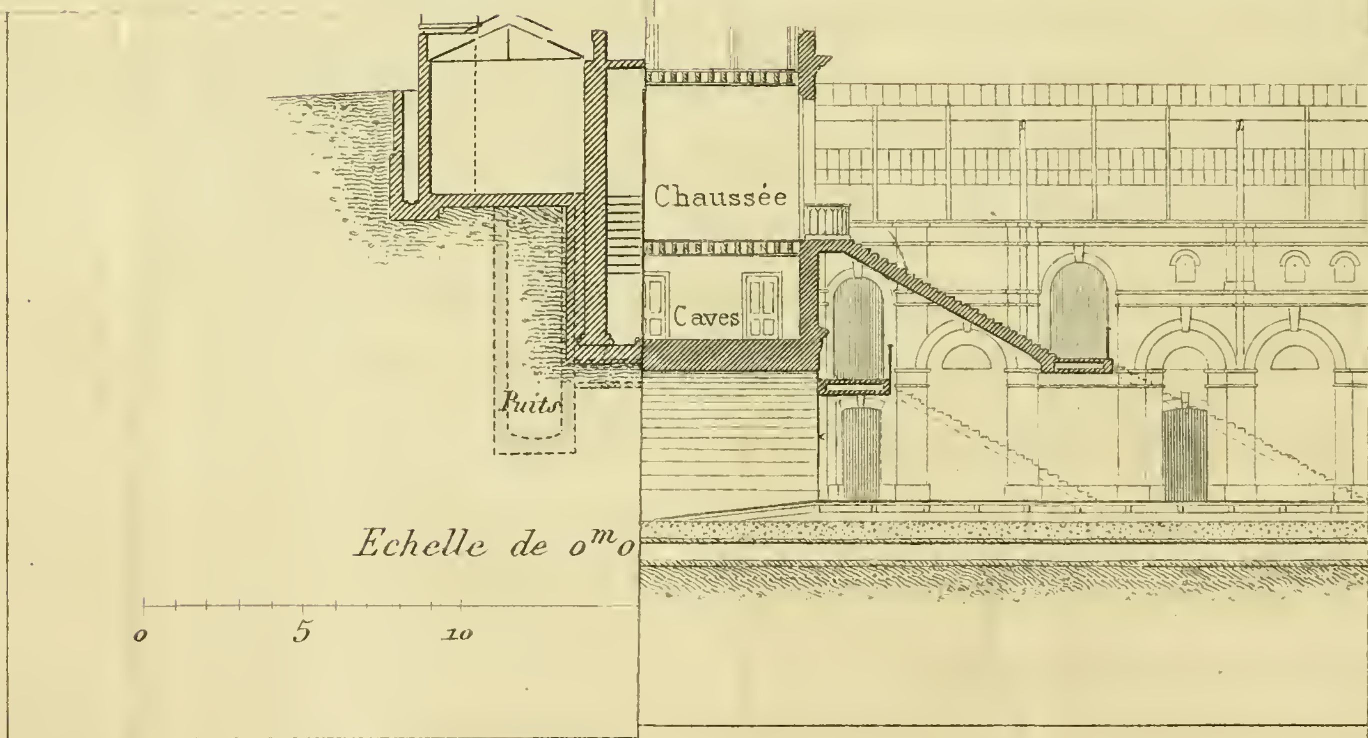
0 5 10 20 30m



Fig. 10
Côté intérieur
Côté extérieur



Gravé par E. Pérot



Annales des Ponts et Chau

érot

qu'elle atteignait, à quelques centimètres près, le niveau de la mer à Liverpool.

(La *fig.* 3, Pl. 2, indique 44 pieds pour les eaux basses de la Tamise. Les eaux à marée pleine atteignent 62′ 50″ et le rail sur le quai est entre 49′ 50″ et 50′ 25″.)

Section couverte avec poutres. — Les sections voûtées que nous venons de décrire sont loin d'être les seules employées. Il est arrivé qu'au lieu de s'enfoncer très-bas dans des terrains mouillés et de remuer ainsi un cube de terre inutile en épuisant des volumes d'eau considérables, on a cru devoir tenir le rail à tel niveau, relativement élevé, où la voûte de 15′ 9″ (4^{m},80) n'était plus possible. Cela s'est produit également, quand on avait à passer au-dessus de certains égouts, ou bien quand ou était limité en hauteur par des égouts, des conduites ou des chaussées au-dessous desquels il convenait de se tenir. On a adopté alors 13 pieds 6 pouces au-dessus des rails (4^{m},12 seulement), nécessaires et suffisants pour laisser passer les machines du Metropolitan et du District, construites exprès avec 12′ 6″ (3^{m},81) de hauteur et celles des autres compagnies : Great Western, Great Northern, Midland, London, Chatham and Dover Railways, qui n'ont que 13′ au plus (3^{m},96). A ce niveau de 13′ 6″, on pose de grandes poutres généralement en fonte, calées sur des murs verticaux à 25′ d'écartement entre leurs parements. Quand au-dessus de ce niveau obligé de 13′ 6″, on dispose de 3′ 6″ et plus (1^{m},05 à 1^{m},20), on adopte une poutre haute de 2′ 6″ (0^{m},76) au-dessus de laquelle restent 0^{m},30 à 0^{m},45 pour le pavage ou le macadam. Quand on est réduit à une hauteur inférieure à 3′ 6″, ou qu'on est obligé de se réserver entre la chaussée et le dessus de la poutre, le passage d'une conduite d'eau ou gaz, on adopte une poutre d'un pied moins élevé, 1′ 6″ soit 0^{m},46. Dans le premier cas, poutres hautes, les poutres sont espacées de 8′ (2^{m},44) d'axe en axe. On se borne à 6′ d'axe en axe (1^{m},83) dans

le second cas, poutres basses. (Voir Pl. 2, *fig.* 8, 9, 10, 11, 12, 15 et 16.)

Presque partout, et les sections à poutres sont adoptées sur au moins le quart de la partie couverte des deux Metropolitan, on a employé la fonte et non le fer. On explique cette préférence par les raisons suivantes. La fonte exposée à l'humidité s'oxyde moins vite que le fer; son emploi dans l'espèce n'exige ni boulons ni rivets, l'entretoisement des poutres de couverture qui nous occupent étant maintenu par des voûtes en briques; enfin la poutre en fonte, quoique plus lourde, coûte moins cher en œuvre qu'une poutre en fer de même résistance. La tonne anglaise de fonte, mise en place, revient en effet à l'entrepreneur au prix de 6£,10^{sch}, soit 162^{f},50 pour 1.016^{k},50 ou 0^{f},16 le kilog. La tonne anglaise de fer dans les mêmes conditions coûte 14£,10^{sch} ou 362^{f},50, c'est-à-dire 0^{f},375 le kilog. ou deux fois et quart le prix de la fonte.

Les poutres de grand modèle sont établies (voir Pl. 2, *fig.* 8, 9 et 10) sur des murs verticaux de 0^{m},66 de largeur, espacés, avons-nous dit, de 2^{m},44 d'axe en axe, soit de 1^{m},78 de parement à parement intérieur. Ces murs, complétement en briques, sont épais de 5′ 6″ (1^{m},68). Ils reposent sur une série de gradins en briques qui répartissent la pression sur le patin de fondation en béton. A une distance de leur face vers la voie, croissant de la base au sommet, ils se réduisent par pans coupés symétriques à l'épaisseur de deux briques (0^{m},44). Ces pans coupés forment la naissance d'une voûte ou mur courbe, portion de cylindre dont les génératrices sont inclinées au fruit de 1/12. Cette voûte de 1′ (0^{m},305) de flèche a une brique et demie d'épaisseur, 0^{m},33 sur la moitié de sa hauteur, une brique seulement 0^{m},22 sur le restant. Tout l'espace compris entre ce mur et les parois des fouilles, contre lesquelles s'appuie le parement intérieur des murs de support, est rempli par du béton se reliant avec celui de fondation.

La même disposition a été adoptée pour les poutres de petit modèle (Pl. 2, *fig.* 8, 11 et 12); seulement les murs qui les supportent, écartés de 6′ (1^m,83) d'axe en axe et de 1^m,26 de parement à parement, n'ont que deux briques et demie, 0^m,55 de largeur, et le mur courbe de liaison ne comporte sur toute sa hauteur qu'une brique d'épaisseur 9′ (0^m,22).

Sur la nervure inférieure des poutres de grand modèle (*fig.* 9, Pl. 2), reposent des voûtes en briques de 0^m,33 d'épaisseur ayant 6′ 6″ (1^m,98) de corde et une flèche de 0^m,33 égale à leur épaisseur. Les reins de ces petites voûtes, qui entretoisent les poutres successives et relient chacune d'elles à la précédente et à la suivante, sont remplis en béton, noyant la partie supérieure de la poutre. Sur le dessus du plafond ainsi formé une chape en asphalte assure l'étanchéité. Des voûtes d'entretoisement de même nature (*fig.* 11), relient les poutres de petite hauteur avec 0,22 d'épaisseur seulement pour 4′ 6″ (1^m,37) de corde et une flèche de 7″ (0^m,18).

Ces sections à poutres se rencontrent surtout dans la portion du Metropolitan District qui s'étend le long du quai de la Tamise où l'on avait intérêt à se tenir le plus près possible du sol. C'est la section à poutre de grande hauteur qui a été le plus généralement adoptée. Les murs droits de support et les murs courbes qui les relient sont disposés, comme il a été dit ci-dessus. Comme dans les sections voûtées de cette partie du railway longeant le quai, on a un radier en courbe de 25′ (7^m,60) de rayon, reposant sur 1 mètre de béton et, suivant la nature des terrains rencontrés, la fondation des murs, qui seuls travaillent sous la charge des poutres, est descendue plus ou moins profondément au-dessous de cette couche générale en béton, sur une épaisseur pour chaque mur de 5′ 6″ (1^m,66).

Maisons rencontrées. — Nous l'avons déjà dit, s'étant tenu sur une faible longueur en souterrain proprement dit,

le Metropolitan Railway a eu beaucoup à compter avec les maisons, quand la force des choses et l'expérience des inconvénients déjà rencontrés l'ont amené à sortir de l'axe des grandes artères et à s'enfoncer à travers les propriétés bâties. En principe, il a franchement acheté et démoli les maisons rencontrées. Tel a été partout le cas du District Railway. L'administration sait seule au prix de quels sacrifices. Il y a tel mille qu'on nous affirme avoir coûté de ce chef seulement, expropriations et indemnités de toute nature relatives aux terrains, jusqu'à 750.000 livres sterling, soit près de 19 millions. Ces sortes d'indemnités ont oscillé en moyenne entre le simple et le double du prix des travaux. On évaluait ces derniers en 1865-1866 au prix moyen de 200.000 livres sterling le mille, dans la portion comprise entre Edgware Road et Moorgate Street. Très-certainement ce prix a été beaucoup plus élevé, sinon entre Edgware Road et South Kensington, mais entre cette station et Mansion House. Sans pouvoir le préciser, nous estimons à au moins 300.000 livres sterling par mille pour l'ensemble du réseau Metropolitan proprement dit le coût des travaux et il n'est pas trop de compter en moyenne 500.000 livres sterling par mille, pour le prix des expropriations.

Un cas cependant, un seul, nous a-t-on affirmé, s'est présenté, où, se trouvant en présence d'un groupe de maisons neuves, très-importantes et dont l'acquisition paraissait devoir entraîner des dépenses énormes, on s'est décidé à essayer de les soutenir. C'est à Cambridge Square, entre Bayswater et Notting Hill Gate Station. C'est naturellement la section avec poutres qui a été adoptée. On a commencé par établir les murs latéraux dans des tranchées aussi étroites que possible, en soutenant les murs des maisons par de fortes pièces de bois, partout où ces tranchées les rencontraient. Puis, sur ces murs, on est venu poser de fortes poutres en tôle irrégulièrement espacées et inégalement inclinées, de manière à passer autant que possible

entre les murs latéraux des maisons. Ces poutres, convenablement calculées, ont été reliées, partout où cela a été possible, par des entretoises en tôle reliées elles-mêmes par des voûtes en briques. C'est sur ce système de plafond en tôle et briques que quatre maisons, touchées en biais et en courbe par le tracé, ont été supportées, et le procédé, tout coûteux qu'il ait été, a réussi.

On s'est trouvé plus loin, près Saint-James Park Broad Way, en présence des dépendances d'une grande brasserie, Elliot et compagnie, sur un terrain qui ne supportait que des bâtiments insignifiants, mais où les propriétaires annonçaient l'intention de construire un vaste et lourd établissement, celliers à bière. Le terrain n'a pu être déblayé et la section du district être construite qu'à la condition d'accepter l'établissement, à travers la voûte du souterrain normal, de fortes poutres en tôle à âme double, recouvertes à leur tour de voûtes complétant la plate-forme supérieure. En certains endroits déterminés par les propriétaires, on a laissé dans ces voûtes des ouvertures circulaires correspondant à des points de chaque poutre où les lames supérieures sont renforcées. C'est en ces points spéciaux que doivent reposer des colonnes supportant le plancher d'un immense cellier supérieur, destiné à recevoir de lourdes cuves de bière.

Section à ciel ouvert. — Le désir d'avoir le plus de parcours possible à ciel ouvert a amené les ingénieurs entre King's Cross et Moorgate Street et plus tard sur un grand nombre de points, depuis Edgware Road jusqu'à Mansion House, à abandonner la section couverte, soit à voûtes, soit à poutres, et à y substituer des tranchées avec mur de soutenement, c'est-à-dire réduites à la moindre largeur possible. Les murs de soutenement inclinés au 1/8 sont couronnés par des parapets ou murs de clôture de 6 pieds ($1^{m},81$). Ils sont formés de piliers complétement en briques, espacés de 11 pieds ($3^{m},35$) d'axe en axe et larges de 3 pieds

($0^m,91$), comptant par conséquent 8 pieds ($2^m,44$) de parement à parement. Ces piliers, au-dessus desquels sont jetées de petites voûtes supportant le mur de clôture, sont reliés par des murs courbes, portions de cylindres inclinés comme eux au 1/8, d'une épaisseur d'une brique et demie $0^m,33$ dans leur partie inférieure et d'une brique $0^m,22$ dans la partie supérieure. En arrière du massif ainsi formé, et pour remplir le vide entre le mur courbe et la paroi de la fouille, on coule du béton relié avec celui de fondation. Tel est le cas simple où le niveau du sol ne dépasse que de 15 à 20 pieds ($4^m,50$ à 6 mètres) le niveau du rail. (Voir Pl. 2, *fig.* 13, 14 et 14 *bis.*) C'est celui qui se présente dans les stations à ciel ouvert, où le mur de soutenement ne diffère de celui que nous venons de décrire qu'en ce que les piliers, toujours espacés de 11 pieds d'axe en axe et ayant, comme les précédents, quatre briques ($0^m,44$) de largeur, montent verticalement, sont décorés par quelques saillies, formant chapiteau et fût, et reliés entre eux par des voûtes en plein cintre avec clef et bandeau saillant. Ces voûtes sont surmontées d'une corniche au-dessus de laquelle s'élève le parapet. (Voir Pl. 2, *fig.* 6, 7 et 7 *bis.*) L'intérieur des arcades ainsi formées, vide compris sous la voûte et entre les faces latérales des piliers, reste maintenu par un mur courbe incliné au 1/8 ayant l'épaisseur déjà indiquée ci-dessus, avec remplissage en béton par derrière.

Les ingénieurs ont établi en principe que, tant que la distance entre le rail et le cordon du parapet (niveau du sol) ne dépasserait pas 15 pieds ($4^m,60$) le massif de soutenement, en tranchée courante comme en station, aurait, à compter du parement de face du pilier jusqu'à la paroi des fouilles, $6',9''$, ($2^m,05$) au niveau du rail, mais qu'on ajouterait 4 pouces 1/2 ou $0^m,11$, par chaque pied de hauteur en plus.

Or, il se trouve des tranchées qui atteignent 45 à 50 pieds.

En augmentant les murs dans la proportion indiquée ci-dessus, on serait arrivé à des épaisseurs exagérées, rendant le système extrêmement coûteux. Dans les tranchées de 20 à 30 pieds, on a cru devoir monter jusqu'à 15 pieds (4m,90) des murs verticaux, piliers espacés de 11 pieds d'axe en axe, avec murs courbes les reliant comme plus haut, seulement avec une épaisseur croissante de 6'3" (1m,90) au niveau des rails. A la hauteur de 15 pieds, ces deux murs parallèles, écartés de 25 pieds pour le passage de la double voie, sont entretoisés par des croisillons en fonte, reliés eux-mêmes par des croisillons plus petits, boulonnés sur les nervures supérieures. A partir de ce niveau jusqu'au sol naturel supposé à 10 ou 12 pieds au-dessus (3 à 4 mètres), le pilier et le mur courbe reprennent leur inclinaison de 1/8, sans néanmoins augmenter d'épaisseur jusqu'au niveau du cordon du parapet.

Dans le cas enfin de tranchées plus profondes que 30 pieds, on a adopté jusque deux rangs de croisillons entretoisés dans l'axe du déblai. Le mur monte verticalement, piliers, mur courbe et remplissage, jusqu'à la hauteur de 20 pieds, avec 10 pieds d'épaisseur (3m,05) au niveau du rail; il reçoit à cette hauteur le premier rang d'entretoises d'écartement et prend le fruit de 1/8 jusqu'à 20 pieds plus haut; là s'établit le deuxième rang d'entretoises. Au-dessus, le mur conserve même inclinaison et même forme jusqu'au cordon du parapet établi au niveau du sol, soit à 5 ou 6 pieds plus haut que le deuxième entretoisement.

Écoulement des eaux. — L'écoulement des eaux de la voie s'obtient assez imparfaitement. En principe, on a établi, ainsi que le représentent les coupes de la Pl. B en arrière des murs latéraux, supportant les voûtes et les poutres, ou formant soutenement des parois des tranchées laissées à ciel ouvert, des tuyaux de drainage de 4 pouces de diamètre (0m,10) posés verticalement, puis recourbés de manière à

déboucher à la base des pieds-droits. (Il n'existe de drains de ce genre ni dans les sections faites en tunnel proprement dit, ni dans les sections à voûtes ou à poutres longeant le quai de la Tamise.) Derrière les murs de soutenement, ces tuyaux sont espacés de 11 pieds en 11 pieds dans l'axe de l'intervalle compris entre deux piliers successifs. Ils sont espacés de 8 pieds ou de 6 pieds dans la sections à poutres, suivant qu'on a adopté des poutres hautes ou des poutres basses. Ils le sont de 3 pieds seulement dans les sections à voûtes.

Ces drains reçoivent les eaux de suintement des terrains graveleux et sableux, essentiellement perméables, contre lesquels ils sont établis, et amènent ces eaux au ballast, à travers lequel elles sont supposées s'écouler et arriver à un aqueduc central. Cet aqueduc, établi dans l'axe du railway, est circulaire, en briques (un rang de $0^{m},22$) et de $1'5''$ de diamètre ($0^{m},43$) dans les sections sans radier, demi-circulaire de 3 pieds de diamètre (0,91) dans les sections avec radier, y compris celles longeant la Tamise.

L'eau amenée latéralement à travers le ballast, pénètre dans l'aqueduc central par des trous qu'on y a ménagés de distance en distance; elle s'y écoule suivant la pente de la voie jusqu'à ce qu'on puisse la déverser dans un égout inférieur, à l'aide duquel elle gagne la Tamise. On a pu agir ainsi dans toute la partie haute du Metropolitan Railway, entre Moorgate Street et Gloucester Road et entre Blackfriars et Mansion house, mais il n'a plus été possible d'user du même moyen d'écoulement direct, de Gloocester Road à Blackfriars. Il a fallu se résoudre à réunir les eaux de l'aqueduc central en certains points bas, où l'on a creusé un puits-réservoir. Sur ce puits a été établie une pompe d'épuisement qui, tirant les eaux amassées dans chaque puits, les élève à un niveau supérieur, d'où elles rentrent en certains égouts qui les déversent dans la Tamise à marée basse. C'est là une gêne et une dépense qu'il a été

impossible d'éviter. Il y a quatre pompes d'épuisement de ce genre aux stations de South Kensington, Sloane Square, Victoria et Temple.

Cet aqueduc central n'a pas généralement rendu le service d'assainissement qu'on en attendait. L'eau, filtrant à travers le ballast, n'arrive que lentement jusqu'à son colateur et tient mouillée la masse graveleuse qu'elle traverse. En tous cas, elle n'y arrive sûrement que dans les sections à radier. Partout ailleurs, elle finit par pénétrer le sous-sol elle le tient saturé d'eau, si c'est du gravier ou du sable ; elle a des inconvénients beaucoup plus graves quand ce sous-sol est l'argile de Londres, compacte et un peu glaiseuse. Elle y séjourne, s'y infiltre par les fissures qu'entraînent les vibrations des trains, rend ce sol mou, glissant, pâteux, les traverses s'y enfoncent et la glaise remonte entre chacune d'elles d'une façon fâcheuse. On a essayé depuis quelque temps de placer le long des murs latéraux de gros drains reçevant les eaux de suintement qu'apportent les drains verticaux et de relier ces conduites longitudinales par d'autres passant sous les voies avec l'aqueduc central. On se trouve déjà mieux de ce système qui est loin d'être parfait. En résumé l'asséchement de la plate-forme laisse à désirer et l'on est à se demander s'il n'eût pas mieux valu ne pas se préoccuper des eaux latérales et établir un radier continu, formant avec les murs latéraux une enveloppe à peu près étanche, la section du chemin de fer ne recevant plus que quelques eaux de suintement à travers les maçonneries. Partout où l'on a agi de la sorte, entre Brompton et Westminster et le long de la Tamise où l'accession des eaux imprégnant le sol latéral eût été un véritable danger et où, par conséquent, les drains des parois n'existent pas, on n'a que peu de suintements et la voie sur radier se tient beaucoup mieux.

Conduites d'eau et de gaz. — La question des conduites

d'eau et de gaz et des égouts a sérieusement préoccupé les constructeurs du Metropolitan. En ce qui concerne les conduites cependant, il n'a jamais été vraiment difficile de les échapper. Si on les longeait, on les déviait, autant que de besoin, à l'aide de tels coudes et raccords maintenant leur section et leur pente et on les plaçait dans les reins de la voûte ou à faible distance de son sommet. Si on les coupait plus ou moins obliquement, on les ramenait à être perpendiculaires à l'axe de la section couverte, et dans le cas où elles auraient pénétré dans la voûte, on remplaçait en ce point la section voûtée par une section à poutres, moins élevée au-dessus du rail, laissant plus d'espace entre son plafond supérieur et le sol naturel et permettant aux conduites de passer sans que leur forme fût modifiée. (Voir la *fig.* 2, Pl. 3.)

Dans le cas où cette rencontre se faisait dans une section à poutres, on remplaçait les grandes poutres par des petites et si cette modification ne suffisait pas, on faisait au besoin reposer la conduite sur des plaques en fonte fixées aux nervures inférieures de deux poutres consécutives. (Voir les *fig.* 3 et 4, Pl. 3.)

Égouts. — Pour les égouts, on a obtenu de modifier la direction des égouts secondaires, rencontrés à un niveau moyen tel qu'on ne pouvait, quelque parti que l'on prît, même en changeant le profil en long du railway, passer ni au-dessous ni au- dessus d'eux. On a été autorisé à les ramener latéralement à la ligne sans changer leur section sur les reins des voûtes ou derrière les murs latéraux, jusqu'à ce qu'on rencontrât un égout inférieur plus important dans lequel on pût les brancher.

Mais il a fallu conserver la direction et la pente aussi bien que la section des égouts principaux, après avoir disposé du profil en long, en relevant ou abaissant le niveau du rail autant qu'il était pratiquement possible, et après avoir réduit au strict minimum la section libre entre le

rail et le plafond. Pour les égouts rencontrés dans des conditions telles que la voie puisse être posée *au-dessus d'eux* sans les toucher, on ne prenait d'autres précautions que d'établir dans les pieds-droits de la section du railway, au-dessus de ces égouts, une voûte de décharge fondée au même niveau qu'eux. Quand le dessus de l'égout était presque tangent au rail, ou bien on obtenait de remplacer le tube en maçonnerie par un tube métallique de même forme à parois moins épaisses, les quelques pouces gagnés par ce moyen assurant la pose de la voie sans danger au-dessus de la conduite ainsi modifiée; ou bien on découvrait la calotte supérieure de l'ouvrage maçonné et l'on remplaçait la voûte sur toute la longueur de la section de railway traversée par des plaques métalliques bien étanches et fortement assujetties, de façon à résister aux sous-pressions que subissent à certains moments un grand nombre des bas égouts de Londres.

Pour les égouts enfin rencontrés dans des conditions telles qu'ils auraient pénétré dans la voûte normale, on substituait à la section voûtée une portion de section à poutres dans le cadre de laquelle se trouvaient disposées deux poutres parallèles à la direction plus ou moins oblique dudit égout et l'encadrant. Sur ces poutres de force convenablement calculée, on établissait un tube métallique de même section, sinon absolument de même forme, que l'égout rencontré, tube que l'on reliait par de solides armatures avec les poutres destinées à le supporter.

L'exemple le plus frappant et le plus intéressant de ce cas se présente tout près de Victoria station. L'obligation de passer au-dessous de l'égout principal rencontré sur ce point, sans y rien changer, explique pourquoi l'on est descendu sur ce point jusqu'à 3 mètres au-dessous du niveau de la Tamise à mer basse. On avait même si peu de hauteur qu'on a dû établir des armatures consolidantes de la cuve proprement dite, forcément en saillie sur les parois

métalliques extérieures de ladite cuve, de telle sorte qu'elles tombent en dehors de la ligne des rails au-dessus de l'entrevoie et de chaque accotement, la saillie qu'elles formaient ne laissant plus les 13'6" indispensables entre leur dessous et le niveau des rails.

Le tube ainsi formé est enveloppé d'une voûte qui l'isole du massif de la chaussée le recouvrant, et répartit le poids de cette chaussée sur la voûte du Metropolitan District au travers de laquelle il est jeté. On voit à la Pl. 3 un tube du même genre traversant en biais la station de Sloane Square.

On a encore au passage du Metropolitan District Railway, aux abords des ponts de Blackfriars, un système d'égouts et de conduites assez compliqué au-dessus et au-dessous desquels la voie souterraine a dû se frayer un passage dans des conditions difficiles et intéressantes.

La plus basse de toutes les conduites rencontrées, Low Level Sewer, passe obliquement sous la section souterraine du railway, n'ayant subi d'autre changement que le remplacement du tube en maçonnerie qui le compose par un tube métallique de même forme et de même section.

Le Subway, pour conduite d'eau et de gaz, passe obliquement aussi au-dessus de la même section sans avoir subi aucune modification dans sa construction et ses installations, le plafond du railway ayant seulement été rapproché du niveau du rail par la substitution d'une section à poutres basses à la section à voûte. Quant au vieil égout du Fleet, passant au dessus du Low Level Sewer et par suite rencontrant le railway très-près du niveau du rail, le Metropolitan District l'a trouvé dévié provisoirement à l'emplacement même choisi pour y établir la station de Blackfriars. Le service municipal en rejetait les eaux à l'aval du pont de Blackfriars, pendant qu'on était en train d'ouvrir dans la culée de ce nouveau pont un double passage neuf remplaçant l'ancien lit déplacé.

Le Metropolitan a été autorisé exceptionnellement à dévier en siphon ce détournement provisoire pendant qu'il construisait la station et qu'il établissait en avant de ladite station, sous la section souterraine qui la précède, la double branche définitive aboutissant aux deux ouvertures déjà faites à travers la culée du nouveau pont. Cette double branche n'a pu être franchie par le rail que grâce à la substitution à la voûte aux abords du Railway, de plaques en fonte fortement boulonnées dans le massif inférieur du béton de fondation.

III. — **Voies du Metropolitan Railway.**

Il peut être intéressant de dire quelques mots de la voie du Metropolitan Railway, qu'on ne peut entretenir que pendant trois ou quatre heures de nuit, entre une heure et cinq heures du matin. Les traverses sont en sapin créosoté : elles ont $2^m,70$ de longueur, 0,254 de largeur sur 0,125 d'épaisseur. La voie normale est la même qu'en France, 4′ 8″ 1/2 (1,436) de rail à rail, mesurés à l'intérieur, soit, avec un rail de 2 pieds et demi (0,0634) de largeur de champignon, $1^m,50$ d'axe en axe.

Le rail pour le moment adopté a 0,111 de hauteur totale, 0,0634 de largeur de champignon, 0,164 de largeur de patin, 0,035 de hauteur d'âme entre congés et 0,019 d'épaisseur.

Il pèse 85 livres anglaises au yard, ce qui fait $42^k,16$ par mètre. Il est en acier Bessemer, provient de l'usine Dowlais, a été demandé doux et livré tel, de telle sorte qu'il s'use et s'éraille plus vite sous l'action des frottements dans les courbes et aux abords des stations, mais qu'en revanche il ne casse pas net, avantage sérieux que l'ingénieur de l'entretien semble apprécier.

Le profil primitif était beaucoup plus écrasé, 0,088 seulement, pour la même largeur de champignon, 0,132 d

patin avec 0,014 d'épaisseur d'âme. L'enveloppe du champignon était seule aciérée sur 2 ou 3 millimètres. Ces rails se sont usés très-vite. On nous a montré un rail de cette catégorie réduit sans écrasement sensible des champignons (0,065 au lieu de 0,063) à 0,078 de hauteur, soit de 0,010 par une usure uniforme du champignon.

En adoptant les rails complétement en acier, on a cru devoir changer leur pofil. On leur a donné 0,127 de hauteur totale avec champignon de 0,062 et patin de 0,153 de largeur. L'âme a 0,016 d'épaisseur, sa hauteur entre congés atteint 0,042. Ce rail, mince et haut, était de fabrication excellente, un peu dur cependant. Il ne s'est pas déterioré trop vite et l'on en retrouve beaucoup de ce gabarit entre King's Cross et Moorgate Street. Quant au nouveau modèle il est posé d'Edgware Road à Mansion House. Son usure est assez rapide dans toutes les parties où l'on serre vigoureusement les freins. Les rives des champignons sont comme rabotées : des copeaux de 1 à 2 centimètres de longueur s'y soulèvent sur toute l'étendue du rail. Ces rails sont à renouveler tous les deux ans. Dans les parties courantes de la ligne, sauf en certaines courbes très-prononcées, ils s'usent fort peu. On compte qu'il n'y aura pas à y toucher avant dix ou quinze ans.

Les rails sont employés en barres de 24 pieds ($7^{m},31$), 21 pieds ($6^{m},40$) et 18 pieds ($5^{m},48$). Ils sont en porte-à-faux au joint muni d'éclisses. Du joint d'origine au point d'attache le plus éloigné sur la première traverse, on a toujours $0^{m},33$ et, du point d'attache le plus éloigné de l'origine sur la dernière traverse jusqu'au point d'extrémité, toujours 0,23. Ceci posé, la portée de 24 pieds ($7^{m},31$) se divise en huit intervalles de 0,844; celle de 22 pieds ($6^{m},40$) en sept intervalles de 0,835 ; celle enfin de 18 pieds ($5^{m},48$) en six intervalles de 0,821. C'est une pose d'une assiette extrêmement solide, avec de longues et larges traverses. Les éclisses et les boulons d'éclisses ne diffèrent

des nôtres qu'en ce que le trou de l'éclisse est d'une forme spéciale, ovale, avec saillies aux extrémités du grand axe dans lesquelles se logent des saillies correspondantes dans le boulon, qui de la sorte ne peut plus tourner. Les patins du rail sont percés de trous en quinconce aux distances indiquées (Pl. 3, *fig.* 10), pour la barre de $7^{m},31$ prise pour exemple.

Dans ces trous passent de longs boulons, traversant la traverse de part en part, avec écrous spéciaux, triangulaires à pointes pénétrant dans le bois quand on serre la tête sur le patin du rail.

Les premiers boulons en fer s'étant cisaillés très-vite au contact de l'acier du patin, on les remplaça par des boulons en acier, coûtant fort cher sans rendre de bons services. A ces derniers furent substitués enfin des boulons en fer nerveux, de la meilleure qualité du Staffordshire, entourés au collet d'une bague en acier, sur la longueur en contact avec le patin du rail. On est satisfait de cette combinaison économique.

Pour certaines courbes à très-court rayon, on a cru prudent de mettre un contre-rail, doublant le rail intérieur de la courbe.

IV. — **Prix de revient.**

Nous n'avons pu obtenir aucune indication précise sur le prix de revient des travaux. Les personnes interrogées prétendent l'ignorer ou ne veulent pas le dire. On nous a affirmé que la section à voûte revenait, comme maçonnerie seulement, à 25 livres sterling le yard, soit 684 francs le mètre courant, et que la section à poutres coûtait 58 livres sterling le yard ou 1.585 francs le mètre courant, tous terrassements, épuisements, étant laissés en dehors. Cette énonciation laisse bien des éléments dans l'inconnu. Combien la section à ciel ouvert, à murs de soutenement, avec ou sans entretoises, a-t-elle coûté? On n'a pu nous le dire.

Quelle longueur y a-t-il de sections couvertes en voûte, quelle longueur de sections à poutres, quelle longueur enfin de sections en tranchées découvertes? Nous l'ignorons. Nous ignorons également quelle a été la dépense moyenne relative aux terrassements, aux étais, aux épuisements; quelle a été celle afférente aux élargissements des stations, à la construction de leurs bâtiments et à leurs installations; aux travaux accessoires fort importants qu'ont entraînés les rencontres fréquentes d'égouts ou conduites diverses; à l'établissement des voies, changements, garages, signaux; combien enfin ont coûté le matériel roulant, wagons et machines, et les ateliers qu'exigent leur remisage et leur réparation? Nous n'avons pour nous guider qu'une phrase du rapport adressé en 1866 par M. Fowler, ingénieur en chef de la construction, au ministre américain M. Stewart. Il estimait à cette époque à 200.000 livres sterling par mille le coût des travaux seulement. Il ne pouvait parler que des travaux complétement exécutés jusqu'en 1865, c'est-à-dire s'étendant d'Edgware Road à Moorgate Street. C'étaient assurément les moins coûteux. Il n'est pas douteux que ceux exécutés de 1866 à 1871 d'Edgware Road à Mansion House sont revenus à un prix sensiblement plus élevé : on a dans cette partie beaucoup plus d'eau, beaucoup plus d'obstacles rencontrés, sous lesquels on a dû se gêner pour passer, beaucoup plus de sections à poutres et à radier. Nous sommes convaincus qu'en estimant le tout en moyenne à 300.000 livres sterling le mille, soit 4.700.000 francs le kilomètre, nous sommes plutôt au-dessous qu'au-dessus du vrai. Les frais d'expropriation et les indemnités de toute nature du même ordre se sont élevés en moyenne, nous a-t-on affirmé, à près de deux fois le prix des travaux, soit 500.000 livres sterling par mille ou 7.700.000 francs par kilomètre. C'est en conséquence pour l'ensemble 800.000 livres sterling au mille ou 12 millions de francs le kilomètre. Donc pour

18 kilomètres, en nombre rond, la somme énorme de 223 millions de francs.

Nous n'avons pas de données plus précises sur le prix de revient des embranchements. Celui de Saint-John's Wood, traité comme le Metropolitan, avec plus des trois quarts de sa longueur en section couverte, a coûté fort cher : seulement il est construit sur presque toute son étendue à une voie seulement. Ceux de West Brompton à South Kensington et d'Addison Road à High Street Kensington, en partie traités l'un et l'autre comme le Metropolitan, c'est-à-dire avec d'assez longues parties souterraines, sont également d'un prix élevé ; seul, celui d'Edgware Road à Hammersmith construit à ciel ouvert, sauf la partie d'origine comprise entre Edgware Road et Bishop's Road, rentre pour la plus grande partie de son étendue dans les prix ordinaires.

Nous croyons pouvoir dire avec une approximation suffisante qu'il y a lieu d'estimer, expropriations comprises, l'embranchement de Saint-John's Wood à 350.000 livres sterling par mille, soit 5.440.000 francs par kilomètre et pour 3.140 mètres 17.100.000 francs. Les deux embranchements reliant le West London Railway au Metropolitan à 200.000 livres sterling par mille, soit 3.150.000 francs par kilomètre, et pour 4,500 mètres 14.175.000 francs. Enfin l'embranchement d'Hammersmith à 80,000 livres sterling par mille, soit 1.250.000 par kilomètre et pour 6,155 mètres 7.700.000 francs. C'est donc un total en plus de 39 millons de francs pour 13.800 mètres (soit 2.830.000 francs par kilomètre) dépensés par la compagnie du Metropolitan, en vue de se créer des affluents. Sauf Hammersmith, ses embranchements sont une charge plutôt qu'un aide, au dire des ingénieurs de la compagnie.

V. — Stations.

Stations souterraines. — Les premières stations construites par le Metropolitan sont celles de Baker Street, Portland Road et Gower Street, toutes trois souterraines, établies sous les grandes chaussées de Marylebone Road et d'Euston Road, dans l'axe desquelles on avait ouvert le nouveau chemin. Nous avons dit déjà pour quels motifs on avait, dès les premières années, renoncé à cette solution, reconnue après coup coûteuse et gênante. Les trois stations dont s'agit sont devenues des exceptions dans le réseau, qu'on essaye par tous les moyens possibles de faire rentrer dans la loi commune en cherchant du jour et de l'air partout où l'on en peut trouver, même au prix de sacrifices considérables. Nous ne dirons que quelques mots sur chacune de ces trois stations, d'un type exceptionnel, définitivement abandonné.

Nous donnons ci-joint un aperçu des dispositions de la station de Gower Street (*fig.* 6, Pl. 1). Le dessin des *Annales des ponts et chaussées*, juillet et août 1866, donne une copie nette de la grande voûte surbaissée qui recouvre la station et de la disposition adoptée pour la ventiler et l'éclairer tant bien que mal par des soupiraux. Ces soupiraux sont parementés dans toutes leurs parois par des plaques vernies de couleur blanche qui reflètent une lumière à peu près suffisante. Ils s'ouvrent, non sur le trottoir, mais en arrière de lui, sur la partie contiguë de petits jardins séparant le trottoir de la façade de chaque maison d'Euston Road. Ils sont recouverts de plaques en fonte dont les vides sont égaux aux pleins et qu'on peut soulever pour nettoyer l'intérieur. La section couverte n'est élargie que sur la longueur nécessaire pour le développement des quais, correspondant à un train normal, soit 90 mètres environ ; la section couverte ordinaire reprend immédiatement après.

La station ne pouvant être à cheval sur la voie et le principe d'indépendance d'entrée et de sortie des voyageurs dans l'une et l'autre direction devant être sauvegardé, il faut absolument deux bâtiments de distribution. Prévus identiques entre eux, et réduits à la plus simple expression, on les a établis en façade, à l'alignement, celui de gauche sur Georges Street, celui de droite sur Gower Street, tous deux un peu en arrière de l'angle de ces deux rues avec Euston Road.

Le croquis montre à quoi se réduit chaque bâtiment : une salle, plus profonde que large dans laquelle se tient le receveur des billets. Cette salle a une entrée particulière sur la rue; sa paroi latérale est percée de deux guichets s'ouvrant sur un corridor ayant entrée directe sur le trottoir. Suivant qu'on veut aller à la Cité (Moorgate Street) ou vers le West End (Paddington et Kensington), on prend le bureau des billets de gauche ou celui de droite en venant d'Edgware Road. Les voyageurs descendent par un escalier couvert qui les amène directement sur leur quai respectif. Ceux que le train débarque trouvent sur le quai même où ils prennent pied un escalier de sortie parallèle et contigu à l'escalier d'arrivée, couvert par la même marquise, seulement débouchant, grâce à un palier de retour intermédiaire, sur le trottoir même de la rue : trottoir de Georges Street, gauche, s'ils viennent de West End, trottoir de Gower Street, droite, s'ils viennent de la Cité. Dans le vide compris entre les escaliers et les limites de profondeur qu'exige le bureau des billets, servant aussi de bureau de comptabilité, on a établi un bureau d'inspecteur (chef de gare), des lieux d'aisances et divers petits locaux de service plus ou moins bien ventilés et en tout cas forcément très-peu éclairés. Le gaz y supplée.

La station de Baker Street est conçue dans le même système : deux bâtiments des plus modestes formant de chaque côté de Mary le Bone Road l'angle de Baker Street, con-

tiennent un simple bureau de billets, entre deux vestibules (Pl. 1, *fig.* 3). Le vestibule à l'angle des deux rues reçoit les voyageurs venant prendre leurs billets, pour la Cité, dans le bâtiment de gauche, pour le West End, dans le bâtiment de droite, toujours en venant d'Edgware Road considéré comme le point de départ. Ces voyageurs descendent par l'escalier A tournant le dos à la voie, trouvent un palier intermédiaire B et complètent la descente jusqu'au quai par un escalier C passant sous le bureau. Les voyageurs arrivant remontent au contraire un escalier accolé à ce dernier C′ et passant comme lui sous le bureau et du palier commun B′, divisé en deux parties par une simple balustrade, remontent par un escalier parallèle au premier, A′, qui les amène au vestibule de sortie et de là directement sur le trottoir de la rue. Ces deux bureaux sont à l'extrémité de la station vers Edgware Road.

La question se complique à Baker Street par la présence de l'embranchement de Saint-John's Wood, lequel exige à l'extrémité de la station vers Moorgate Street, mais du côté gauche seulement un troisième bâtiment à billets et un vestibule, par lequel entrent ou sortent les voyageurs allant directement à Saint-John's Wood ou en revenant. L'embranchement n'a qu'une voie et est relativement peu fréquenté, de sorte qu'on a admis ici par exception que les deux courants se rencontrent. Une série de corridors et d'escaliers permet aux voyageurs, soit qu'ils viennent du West End, soit qu'ils viennent de la Cité, d'arriver au quai spécial de l'embranchement, et de ce quai spécial, d'atteindre celui du Metropolitan sur lequel ils doivent s'embarquer, sans confusion ni danger.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur ce cas compliqué résultat d'une situation anormale et forcée, embranchement greffé sur une station souterraine.

La station de Portland Road a pu être concentrée en un seul bureau grâce à une sorte de grand refuge ovale créé

sur une petite place, un peu à droite de l'axe du souterrain. Ce refuge laisse à son extrémité gauche un grand espace découvert qui éclaire et aère la station. Elle a cessé en réalité d'être souterraine et a pu être traitée comme la plupart des gares découvertes, les deux escaliers d'accès à la voie droite, descente pour prendre le train, remonte en en sortant, étant dans le bâtiment A côté droit et les deux escaliers d'accès, côté gauche, étant ménagés dans l'épaisseur des murs à gauche et aboutissant à l'aide d'un pont à double passage, établi à hauteur convenable au-dessus des voies, au vestibule B contigu au bureau des billets C. (Voir le croquis Pl. 1, *fig.* 4.)

Stations à ciel ouvert. — Toutes les autres stations sont établies à ciel ouvert, c'est-à-dire dans une tranchée de 6 à 10 mètres de profondeur, élargie, avec murs de soutenement, les sections couvertes s'arrêtant au moins à l'origine des quais et ne reprenant au plus tôt qu'après les 90 ou 100 mètres que comporte généralement l'étendue de ces quais. Dans la plupart des stations, le bâtiment a sa façade sur la voie publique, mais son corps proprement dit est en travers même des voies, supporté au-dessus d'elles, soit par une voûte ordinaire simplement renforcée, si l'on a de la hauteur, soit par de fortes poutres en tôle reliées par des entretoises et des voûtes en briques si l'on n'a de disponible que la hauteur réglementaire minima. Un comble vitré couvre les quais et les voies en deçà et au delà du bâtiment qui s'éclaire latéralement sous ce comble vers les voies mêmes. Un double pont, desservi par quatre escaliers, permet l'entrée des voyageurs sur chacun des quais et leur sortie sur le trottoir sans que jamais deux courants en sens contraire puissent se rencontrer. La station et ses dépendances sont réduites au strict nécessaire. Si, pour fixer les idées, nous prenons par exemple la station de Praed Street (Paddington), que représente la *fig.* 2, Pl. 1, nous voyons une façade AB sur la rue, formant avant-corps, un peu orné,

avec quelques fenêtres n'éclairant que des magasins sans importance. Le restant BC, AD est un mur plein ornementé de fausses fenêtres ; seul BC comporte en *b* une porte de sortie sur le trottoir. Le voyageur entrant par le milieu de la façade AB, descend quelques marches et trouve à sa droite les guichets à billets, à sa gauche un buffet ; il tourne à gauche par un corridor qui l'amène sur un pont PP' et, suivant qu'il veut prendre le train sur le quai de droite ou sur le quai de gauche, il descend l'escalier P*p* ou l'escalier P'*q*, l'un et l'autre ménagés dans l'épaisseur des murs. Pour la sortie, le voyageur arrivant sur le quai de droite trouve un escalier MR, l'amenant au deuxième pont RR', qu'il traverse : à l'extrémité de ce pont, un nouvel escalier R'*b*, lui permet de gagner la porte de sortie. Le voyageur arrivant sur le quai de gauche, trouve dans l'intérieur du mur un escalier *t*R', l'amenant au niveau intermédiaire du pont RR', et il arrive par l'escalier R'*b* jusqu'à la sortie sur le trottoir. Le bâtiment comporte de plus une chambre pour l'inspecteur de la station et le comptable et une chambre de repos pour les dames avec cabinets d'aisances. Les objets divers nécessaires au service, huile, charbon, etc., sont emmagasinés sous le comble vitré, dans des niches *ad hoc*, pratiquées à la hauteur de chaque quai, dans l'épaisseur des murs de soutenement de la station.

Toutes les autres stations du Metropolitan et du District, rentrant plus ou moins dans la disposition-type que nous venons de décrire, ce qui précède, description et croquis, suffit donc pour donner une idée des principes adoptés et des moyens mis en œuvre pour les réaliser aussi convenablement que possible. Il a paru cependant utile de présenter les dessins complets à échelle convenable d'une station plus importante que Praed Street et plus largement traitée qu'elle. On a choisi celle de Sloane Square. On trouvera ces dessins à la Pl. 3, *fig.* 1, 5, 6, 7, 8, 9 et 11, et Pl. 2, *fig.* 17 et 18.

VI. — Machines et wagons.

Les conditions de construction et les conditions d'exploitation du Metropolitan Railway exigeaient l'emploi d'un matériel spécial. S'arrêter instantanément, facilement, sans secousses, repartir sans secousses également, sans soubresaut et avoir repris en quelques secondes la vitesse normale, ne laisser dans les parties couvertes, qui formaient dans l'origine au moins les trois quarts de la distance parcourue, ni vapeur, ni fumée, ni gaz odorant, éclairer les voyageurs à qui un si long parcours en tunnel eût rendu le voyage ennuyeux et pénible, s'arrêter très-peu aux stations, tant intermédiaires que terminales, rendre en conséquence l'embarquement et le débarquement des voyageurs extrêmement rapides et commodes, n'importe en quel point, avoir des trains aussi fréquents, aussi rapprochés les uns des autres que peuvent l'être les omnibus dans les rues, et avec toutes ces circonstantes aggravantes, au milieu de toutes ces difficultés, circuler sans danger et à une allure relativement rapide : tels étaient les nombreux problèmes qu'on avait à résoudre pour exploiter fructueusement un chemin si chèrement construit et forcément établi avec des rampes fortes et des courbes de court rayon. Nous croyons pouvoir le dire, on est arrivé au résultat désiré d'une manière aussi complète que possible.

Wagons. — Le Metropolitan Railway se sert de voitures à huit compartiments, grands wagons de 12 mètres entre tampons, portés sur quatre roues de chaque côté, à essieux fixes. Quoique convenablement lestés et très-doux, ces wagons, d'une trop grande longueur sans articulation, tendent à être remplacés chacun par deux wagons à quatre compartiments, attelés très-serrés et ne donnant ensemble que la longueur de celui unique auquel on les substitue. La solution ne paraît pas satisfaisante. Ces wagons dédoublés ont

moins d'assiette que ceux qu'ils remplacent. Le District Railway a adopté des voitures à cinq compartiments, ne mesurant que $7^{m},50$ de longueur entre tampons et qui, moins longues, bien lestées, paraissent avoir l'avantage. Un train se compose d'une façon toujours la même, de cinq wagons à huit compartiments (ou 10 à 4) comportant deux voitures de deuxième classe en tête, deux de troisième classe en queue et une première au centre. Le District emploie huit wagons à cinq compartiments, dont trois wagons de troisième classe, deux de seconde, deux mixtes (première et seconde) et un wagon de première classe. Ces wagons ont leur plancher arasant à quelques centimètres près le plancher des quais. On y monte, on en descend sensiblement de plain-pied, les quais étant des plates-formes en bois supportées par des petits murs avec encorbellement. La position occupée par les wagons de chaque classe est indiquée à tous par des tableaux *ad hoc* et chacun se tient en face de la voiture qu'il veut prendre, remplaçant sans trouble la personne qui descend. Ce remplacement s'opère d'autant plus vite que l'on n'a presque jamais de bagages. Aux gares terminus, les trains arrivent entre deux quais et généralement se vident par un quai et s'emplissent immédiatement après par l'autre, la machine qui a amené le train précédent s'attelant de suite à la queue du train qui vient d'arriver et revenant tender en avant. On est à peine une demi-minute aux gares intermédiaires, quatre à cinq minutes aux gares terminales.

Éclairage des wagons. — Les wagons sont éclairés au gaz : deux becs par compartiment fermé, un nombre un peu moins grand pour les wagons où les compartiments ne sont séparés que par des cloisons jusqu'à hauteur d'appui. Le gaz est pris aux deux stations terminus de Moorgate Street et de Mansion House dans des compteurs spéciaux, mis en relation avec les conduites les plus voisines. En certains points du quai sont établis autant de gros tuyaux en caout-

chouc qu'il y a de wagons ; ces tuyaux s'enroulent et se replient sous le trottoir. A l'arrivée des cinq ou huit voitures qui forment chaque train, on adapte au tuyau spécial de chaque voiture un de ces gros tubes et ouvrant le robinet, on livre passage au gaz qui va s'emmagasiner dans une boîte rectangulaire, fixée sur le toît du wagon et en occupant toute la superficie. Cette boîte forme l'enveloppe d'un sac en caoutchouc de même forme qu'elle, dont la face supérieure, munie de lamelles de bois et fer, est soulevée facilement par le gaz en pression au moment du remplissage et retombe par son propre poids au fur et à mesure que la pression diminue. Une flèche apparente à l'extérieur indique à l'homme chargé du remplissage le moment où l'opération est terminée et le sac intérieur suffisamment gonflé et où il peut fermer son robinet d'introduction. Il dévisse son tuyau de raccord et le train se met en marche, la quantité de gaz, ainsi emmagasinée sur le toît de chaque voiture, suffisant pour atteindre, dans de bonnes conditions d'éclairage, la station terminus.

Les voitures à huit compartiments pèsent, vides, 12 à 14 tonnes. Un train composé comme il a été dit peut emporter 350 voyageurs. Il n'est guère, en moyenne, plus d'à moitié rempli. On estime à 100 tonnes dans ces conditions le poids du train complet.

Machines. — Les machines pèsent 42 tonnes anglaises. 30 tonnes sont portées par quatre grandes roues motrices placées à l'arrière et ayant 5′ 6″ de diamètre (1^m,63). On a la pensée de les diminuer, n'ayant pas besoin d'une plus grande vitesse que celle dès à présent obtenue, vitesse qu'on pourrait acquérir avec des roues moins grandes. On parcourt en effet 25 milles, soit 40 kilomètres à l'heure, en pleine marche entre deux stations.

La vitesse moyenne, tous arrêts compris, ne dépasse pas la moitié de ce chiffre, 12 à 13 milles ou 20 kilomètres à l'heure. L'avant de la machine repose sur un châssis

de quatre petites roues simplement portantes avec timon et boulon formant cheville ouvrière; le tout est combiné de façon à donner un certain jeu (3 à 4 centimètres) nécessaire pour permettre, sans trop de frottement, le passage dans les courbes à court rayon, la machine ayant entre tampons une longueur de 9m,79 (32′ 1″½).

Condensation. — Le foyer de la machine spéciale du Metropolitan Railway présente des dimensions exceptionnelles; sa grille est très-développée et l'on arrive ainsi à produire en un temps très-court une quantité de vapeur considérable. C'est grâce à cette combinaison qu'on obtient après quelques tours de roue, c'est-à-dire presque immédiatement, la vitesse normale attribuée à la machine. La vapeur peut, à la volonté du mécanicien, s'échapper par la cheminée suivant la disposition ordinaire, ou être introduite dans deux tubes latéraux qui l'amènent dans deux boîtes à eau de grande dimension, une de chaque côté de la chaudière. Suivant qu'il y a lieu ou non de condenser, le mécanicien met en mouvement telle tige qu'il a sous la main, laquelle ouvre dans la boîte à fumée, soit le tube conduisant la vapeur dans le condenseur, soit l'échappement vers la cheminée. Un graphique, que chaque mécanicien connaît, lui indique les points où il doit condenser. La vapeur arrivant dans les deux boîtes à eau froide, remplies au terminus que l'on vient de quitter, échauffe insensiblement cette eau, sans cependant que l'échauffement devienne assez considérable pour rendre la condensation impossible jusqu'à l'arrivée au terminus extrême. Ce terminus atteint, on lâche l'eau échauffée, presque bouillante, dans une fosse à piquer le feu, mise en communication avec l'égout le plus voisin et l'on reprend de l'eau froide. Il n'y a aucune difficulté pour les parcours relativement peu étendus en section couverte qui s'étendent entre Mansion House et Edgware Road, parcours fréquemment coupés par des sections à ciel ouvert et surtout par des stations

à large ouverture béante. Tout semble annoncer que, pour le plus grand nombre de ces petits souterrains, les mécaniciens ne condensent pas, malgré l'ordre donné, cet ordre, nous a-t-on dit, ayant pour objet, non pas de mettre les voyageurs à l'abri de la vapeur qui, en réalité, les gêne infiniment peu, que d'empêcher l'air de s'obscurcir sous la voûte, aux abords des points où sont faits les signaux et de rendre leur lecture impossible pour les mécaniciens. A partir d'Edgware Road, en présence de 2 milles de souterrain presque continu, on est bien obligé de condenser. Les mécaniciens qui ont poussé le feu dans les parties découvertes se présentent à l'entrée de cette longue section couverte avec une pression de 130 livres par pouce carré (plus de 8 kil. par centimètre carré) et arrivent à l'extrémité n'ayant plus qu'une pression de 73 à 80 livres. En somme, les règlements relatifs à la condensation sont rigoureux ; mais, dans la pratique, on n'en tient qu'un compte assez incomplet, et sans même attendre qu'on soit en section découverte, on lâche la vapeur par la cheminée, surtout à la fin du voyage, quand on s'aperçoit, par la vapeur qui s'échappe d'un tuyau émergeant de la boîte à eau, que l'eau de condensation commence à s'échauffer sensiblement.

Combustible. Fumée. — A l'égard du combustible, on s'était astreint dès l'abord à ne brûler qu'un coke entièrement pur, débarrassé surtout de tout élément sulfureux. Cette matière spéciale revenait extrêmement cher. On ne l'a employée que pendant les deux premières années. En même temps que, par tous les moyens possibles, on ventilait le grand souterrain, à Portland Road Station, et surtout entre Gower Street et Kings Cross, on devenait moins difficile sur la qualité du combustible, et depuis cinq ou six ans on se contente d'un charbon d'excellente nature, provenant du pays de Galles, qui brûle sans presque donner de fumée et ne répand pas de vapeurs sulfureuses sensibles. En tout cas, aux points où l'on arrive en section

couverte de quelque longueur, ordre est donné de fermer la cheminée et de diminuer par un registre l'introduction de l'air dans le foyer. En fait, que cet ordre absolu soit, comme celui de condenser, plus ou moins complétement exécuté par les mécaniciens, il est certain qu'il se produit fort peu de fumée, et le parcours, sous les souterrains de quelque longueur, s'effectue sans gêne appréciable pour les voyageurs.

Les machines du Great Western admises sur le Metropolitan Railway, entre Bishop's Road et Moorgate Street, n'ont que six roues, sans avant-train articulé. Elles ont des condenseurs beaucoup moins grands que ceux des machines spéciales du Metropolitan, et le charbon qu'elles brûlent est loin d'être aussi pur que celui de ces dernières. Il est entendu cependant qu'avant d'être employé, il doit être soumis à l'examen et à l'analyse de l'ingénieur de la traction du Metropolitan. Ces machines néanmoins circulent sans difficulté, assez fréquemment dans la journée, sur la portion du Metropolitan la moins bien ventilée, et personne ne se plaint de leur insuffisance au point de vue de la vapeur et de la fumée. Ce qui semblerait annoncer (et cette conclusion ressort, du reste, très-frappante de ce qui nous a été dit bien des fois) qu'on s'était exagéré, à l'origine, les inconvénients du parcours en souterrain continu qui nous occupe et qu'il a suffi de quelques ouvertures introduites après coup dans ce long tube pour le rendre presque aussi commode à parcourir que le reste du réseau.

Freins. — A l'arrivée à chaque station, 200 mètres environ avant le point d'arrêt, on serre les freins de la machine et des wagons. Il y a toujours au moins deux freins dans chaque train, l'un dans le premier compartiment du wagon de tête, seconde ou troisième, l'autre dans le dernier compartiment du wagon de queue, troisième ou seconde. Ces freins, qui sont en peuplier, s'usent avec une rapidité

extrême, et ceux des machines spécialement sont à remplacer toutes les trois semaines. Ils agissent en tout cas avec une grande énergie. On s'arrête sans secousse appréciable au point voulu, seulement désagréablement frappé par le bruit discordant que produit le glissement sur les rails de toute la masse.

Signaux. — L'exploitation se fait par le système du *blocus* (Block System), c'est-à-dire à voie fermée. Un train ne doit partir d'une station que quand l'homme préposé aux signaux de cette station lui a présenté le signal vert, indiquant que la voie est libre, et ce signal n'est tourné du rouge au vert que quand cet homme, enfermé dans une guérite *ad hoc*, à l'une des extrémites d'un des quais de la station, a reçu par signal télégraphique l'avis de la station voisine que le train précédent y est arrivé et en part au moment même. Les stations sont espacées d'une manière assez uniforme, de 7 à 800 mètres en moyenne. Entre quelques-unes cependant, il y a des intervalles sensiblement plus considérables. Dans ce cas, comme par exemple entre Gower Street et King's Cross, on a établi des signaux intermédiaires manœuvrés provisoirement de la gare la plus voisine. Les choses sont néanmoins, à l'avance, disposées en vue de trains plus rapprochés que ne le comporte le temps moyen nécessaire pour franchir la distance d'une station à l'autre. Des chambres à signaux n'attendent plus que leur ameublement pour fonctionner entre deux stations, sous la direction d'un homme à poste fixe, outillé comme ceux des stations, et correspondant avec ses collègues de la station qui précède et de celle qui suit.

L'homme enfermé dans sa guérite, averti par la sonnerie de son télégraphe et l'indicateur mobile qui vient mécaniquement se placer sous ses yeux, *voie libre* ou *train sur voie*, manie le levier qu'il a devant lui avec une inscription faisant connaître la position du signal que ce levier fait

mouvoir. Il ouvre ou ferme la voie sans rien voir, un petit disque en face du même levier se tournant sous ses yeux et l'avertissant que le mouvement est opéré.

Nous n'entrerons pas dans le détail très-complexe des manœuvres d'aiguilles qui, pour le Metropolitan proprement dit, ne se font généralement qu'aux gares terminus (les jonctions de voies prévues et posées à chaque station de passage ne se manœuvrant qu'en cas d'accident), mais qui sont très-fréquentes et très-sérieuses à la bifurcation de l'embranchement de Paddington, où le Metropolitan reçoit sur ses voies les trains d'Hammersmith et du Great Western, et ailleurs, à Farringdon Street et à Aldersgate Street, où se détachent de lui et viennent se rattacher à lui les trains de marchandises du Great Western desservant la gare souterraine et le marché de Smithfield. En principe l'homme aux signaux fait l'aiguille en même temps que le signal et un système d'enclanchement spécial l'empêche, non de se tromper, mais de faire des signaux contradictoires, par exemple d'ouvrir une voie quand un garage qui s'embranche sur cette voie est resté ouvert. Quoi qu'il en soit, on paraît être arrivé à une sécurité complète, nonobstant cette multiplicité effrayante de trains afférents au Metropolitan seul, compliquée par l'introduction, sur les voies du Metropolitan, d'un grand nombre de trains étrangers.

Trains étrangers. Relations avec les grandes lignes. — Les indicateurs que nous avons eus sous les yeux montrent, en effet, qu'à des intervalles extrêmement rapprochés, les voies du Metropolitan reçoivent entre les trains normaux du Metropolitan et du District, effectuant tout le parcours de Moorgate Street à Mansion House et de Mansion House à Moorgate Street, les trains d'Hammersmith s'embranchant entre Bishop's Road et Edgware Road et gagnant Moorgate Street, les trains du Great Western, voyageurs, s'embranchant au même point et arrivant également à Moorgate Street, les trains du Great Western, marchan-

dises, s'embranchant toujours au même point pour atteindre le marché de Smithfield, dans lequel ils pénètrent par Aldersgate Street Station, ceux enfin de Kensington (Addison Road) venant par la branche de Latimer Road gagner la même bifurcation et débarquer à Moorgate Street.

Les trains qu'on appelle du District local empruntent, de Mansion House à South Kensington, les voies de la grande ligne et prennent à cette dernière station pour West Brompton une branche spéciale indépendante du Metropolitan. Il n'y a pas de trains directs de West Brompton vers Moorgate Street. On change de wagons à Gloucester Road. D'autre part, la branche d'Addison Road par Earl's Court sur Moorgate Street ou vers Mansion House n'est pas encore en exploitation. Les trains de l'embranchement de Saint-John's Wood partent de Baker Street sans pénétrer sur les voies de la grande ligne. Quant aux trains de Midland, du Great Northern et du London Chatham and Dover Railway, ils sont complétement indépendants du Metropolitan et arrivent à Moorgate Street ou King's Cross sans que le service de ce dernier ait à s'en préoccuper.

Durée du service. Espacement des stations. — Les trains du Metropolitan et du District partent toutes les dix minutes de chacune des stations terminus, Moorgate Street ou Mansion House; mais dans cet intervalle partent de Moorgate Street, soit un train pour Hammersmith, soit un train pour Kensington, soit un train enfin pour Great Western, quelquefois deux; de même, dans cet intervalle part de Mansion House un train de District local pour West Brompton. Pour ne nous occuper que des trains parcourant la grande ligne d'un bout à l'autre, on voit que District ou Metropolitan font le trajet de Mansion House à Moorgate Street en 58 minutes, de Moorgate Street à Mansion House en 1 heure 2 minutes, soit 1 heure en moyenne pour environ 18 kilomètres. Il y a vingt-deux stations, en tout vingt et un arrêts, à 40 secondes chacun en moyenne; cela

donne 14 minutes. Restent 46 minutes pour le parcours, soit en conséquence 378 mètres à la minute ou moins de 24 kilomètres à l'heure de vitesse effective. On est donc bien loin des chiffres annoncés théoriquement de 40 kilomètres à l'heure, et l'on comprend que les ingénieurs de la traction puissent pour leurs nouvelles machines diminuer le diamètre des roues motrices.

Le dimanche, un certain nombre de trains sont supprimés. Le service qui, pendant la semaine, commence dès 5 heures 9 minutes du matin à Mansion House et dès 5 heures 12 minutes à Moorgate Street, pour s'arrêter à 11 heures 59 minutes du soir à Mansion House et à minuit 2 minutes à Moorgate Street, ne commence le dimanche à Mansion House qu'à 7 heures 59 minutes du matin, s'y arrête de 10 heures 44 minutes à 1 heure 4 minutes, pour de là se continuer sans interruption jusqu'à 11 heures 31 minutes du soir. A Moorgate Street, même départ tardif à 7 heures 52 minutes du matin, arrêt de 10 heures 52 minutes à 1 heure 2 minutes, puis continuation toutes les 10 minutes de 1 heure 2 minutes jusqu'à 11 heures 22 minutes du soir.

En semaine, à partir de minuit, il ne part plus dans les deux sens que des trains de wagons vides, allant se garer à Gloucester Road (Brompton), alors que toutes les voies de Mansion House et de Moorgate Street sont remplies, et des machines haut le pied retournant au dépôt de South Kensington (District) et d'Edgware Road (Metropolitan). A partir de 1 heure du matin toutes les gares se ferment.

Les employés sont en double partout. Ils prennent le service un peu avant 5 heures du matin jusqu'à 3 heures après midi. Tous sont relevés exactement à 3 heures, et la seconde escouade est de service jusqu'à 1 heure du matin. Les mécaniciens et chauffeurs prennent la machine qui leur est désignée à la station même, où elle passe à 3 heures. Les hommes aux signaux ne travaillent que 8 heures.

Comme il est inutile pour le plus grand nombre d'entre eux qu'ils restent à leur poste de 11 heure à 5 heures du matin, la voie ne recevant dans cet intervalle qu'un train de ballast ou d'ouvriers de l'entretien qui se fait chaque matin, sauf le lundi, on s'arrange pour en avoir cinq seulement pour deux postes, le cinquième allant d'un poste à l'autre pour relever ses collègues et finir sa journée de huit heures. L'entretien n'est possible que la nuit. On ne voit, le jour, que quelques hommes nettoyant les aiguilles dans les gares.

Messageries. — On ne fait pas jusqu'à présent de messageries. Les voyageurs sont admis avec des bagages jusqu'à concurrence d'un poids de 40 livres, sans payer : au-dessus de ce poids, ils payent une certaine rétribution. Mais il ne s'en trouve pas un sur mille qui profite de cette faculté, au moins dans les trains du Metropolitan et du District proprement dits. Chacun ne porte avec soi que les paquets légers qu'il peut tenir à la main, comme dans les omnibus.

Mode d'exploitation. Tarifs. Produit. — On observera que le Metropolitan Railway et le District Railway sont deux compagnies distinctes. Les deux chemins ont été construits par les mêmes ingénieurs, en grande partie par les mêmes entrepreneurs, sur le même type, par les mêmes procédés. Les règlements, les tarifs, le mode d'exploitation paraissent être les mêmes. Il y a union obligée entre les deux compagnies, mais non pas fusion. Dans l'une et l'autre compagnie on a cru bien faire de réunir dans la même main l'entretien et la traction ; mais l'ingénieur du Metropolitan Railway n'a aucune action sur les cantonniers et mécaniciens du District, et réciproquement. Les inspecteurs de chaque compagnie suivent néanmoins leurs trains respectifs sur tout le parcours de la ligne principale.

La compagnie du Metropolitan Railway a 7 machines en route pour la desserte de la ligne principale ; 2 restent en

réserve aux deux terminus, 8 font le service de l'embranchement d'Hammersmith, 4 enfin sont utilisées sur celui de Saint-John's Wood. En réalité, 25 à 26 machines suffiraient. On a presque le double (45, nous a-t-on dit), le Metropolitan Railway s'étant outillé pour le service complet de tout le réseau, alors qu'il pensait, ce qui n'a pas eu lieu, que le District ne croirait pas devoir exploiter lui-même.

Pour ne parler que de la ligne principale, des 7 machines qui la desservent, une, la première partie, rentre la dernière, après avoir fait, parfois en 2 heures 5 minutes, le plus souvent en 2 heures 10 minutes, le double parcours de Moorgate Street à Mansion House et retour de Mansion House à Moorgate Street, 9 fois, soit $9 \times 36.000^{m} = 324^{k}.000$ en sa journée. 3 autres machines font 8 fois le même parcours, c'est-à-dire $8 \times 36^{k},000 = 288^{k}$; les 3 dernières enfin ne le font que 6 fois, c'est-à-dire $6 \times 36 = 216^{k}.000$. C'est donc, pour le Metropolitan Railway, $9 + 24 + 18 = 51$ trains, aller et retour.

La compagnie du Metropolitan District a 6 machines employées pour la desserte de la ligne principale; 2 se tiennent en réserve, 6 servent aux trains de District local de Mansion House à West Brompton et retour.

Des 6 machines circulant sur la ligne principale, 1 seule fait 9 fois le double parcours de Mansion House à Moorgate Street et retour, en 2 heures 10 minutes, généralement, soit, en sa journée, $323^{k},200$; 4 font 8 fois ce même parcours, c'est-à-dire 288^{k}; 1 seule, la dernière partie, ne le fait que 7 fois, soit 252^{k}. C'est, en conséquence, pour le Metropolitan District, $9 + 32 + 7 = 48$ trains, aller et retour.

Dans les conditions d'exploitation qui viennent d'être définies, nous croyons savoir que les deux compagnies se partagent les recettes de la grande ligne au prorata du nombre de kilomètres parcourus par chaque voyageur sur

chaque réseau, le réseau du Metropolitan Railway étant compté par convention comme s'étendant de Moorgate Street à Gloucester Road (Brompton), soit 10.660 mètres, et celui de Metropolitan District comme compris entre Gloucester Road et Mansion House, soit $7^{k},340$

Il était assez difficile que les tarifs fussent proportionnels aux distances, les prix réclamés ne pouvant croître que par unités monétaires les plus petites, 1 penny. La comparaison des tables de prix que l'on trouve à la fin des indicateurs de chaque compagnie montre que l'une et l'autre compagnie prennent 1 schelling ($1^{f},25$) en première classe pour aller d'une extrémité à l'autre du réseau, mais que ce prix maximum, qui n'est appliqué par le Metropolitan Railway que pour les deux dernières stations, Blackfriars et Mansion House en partant de Moorgate Street, est appliqué par le District en partant de Mansion House, pour les sept dernières stations, de Praed Street à Moorgate Street inclusivement. La même observation s'applique aux deuxièmes et aux troisièmes classes.

Les deux réseaux ont des billets d'aller et retour et des billets de saison ou abonnements, qui paraissent présenter des avantages notables. Il y a tous les matins des trains d'ouvriers à tarifs réduits, 2 pence par jour, aller et retour, ou 1 schelling par semaine. On compte aussi chaque jour un ou deux trains parlementaires.

Le cahier des charges des deux Metropolitans ne forme pas, comme pour chaque chemin de fer français, un tout coordonné d'ensemble. Il se compose des conditions générales imposées aux divers chemins de fer anglais et qui s'appliquent naturellement aux chemins qui nous occupent, et de nombreuses conditions spéciales auxquelles les bills successifs du Parlement les ont obligés, au fur et à mesure des autorisations accordées par leurs extensions successives.

Jusqu'en juillet 1871, la compagnie du Metropolitan

Railway a fait l'exploitation du réseau du District à raison de 45 p. 100 du revenu brut de ce dernier.

N'ayant pas les rapports de Metropolitan District, janvier et février 1872, nous ne savons quelles modifications auront amenées les nouvelles conventions d'après lesquelles le District, exploitant lui-même son réseau local, concourt à l'exploitation du réseau commun, avec partage des recettes dans les conditions que nous avons consignées plus haut, d'après les renseignements qui nous ont été donnés il y a quelques jours sur le mode actuel d'exploiter.

Ceci posé, si nous examinons le rapport fait, en août 1871 aux actionnaires du Metropolitan Railway, pour leur rendre compte de la situation au 30 juin 1871, nous y lisons que la dépense totale, depuis l'origine, est de 7.444.370 £ (186.109.250 fr.) dont 142.745 £ (3.568.625 fr.) forment la part de dépense afférente au semestre considéré. A la date du 30 juin 1871, on estimait à 974.036 £ (24.350.900 fr.) ce qui restait à dépenser sur le compte capital, en travaux et terrains pour la ligne en construction de Moorgate Street à Liverpool Street (extension vers l'est) et en indemnités et acquisitions de terrains restant à payer à terme pour la portion déjà construite et exploitée. On comptait payer ce reliquat tant sur le restant disponible des obligations émises que sur les sommes à recouvrer par la revente des terrains au-dessus des sections souterraines, entre Brompton et Moorgate Street surtout.

La dépense faite pendant le 1er semestre 1871 est établie comme il suit :

	liv. st.	francs.
Entretien des voies, des travaux et des stations	10.531	263.275
Traction, salaire, charbon et coke, eau, huile et graisse, entretien et renouvellement des machines	30.601	765.025
Voitures et wagons, réparations	4.839	120.975
Dépenses d'exploitation, salaires et gages des		
A reporter. . . .	45.971	1.149.275

	liv. st.	francs.
Report.	45.971	1.149.275
agents, éclairage, habillement, impression, billets, omnibus et divers.	34.236	855.900
Charges générales, administration.	7.741	193.525
Contentieux.	1.135	28.375
Indemnités pour accidents et pertes.	2.288	57.200
Taxes, impositions diverses.	15.403	385.075
Total.	106.774	2.669.350
D'où il y a lieu de déduire la redevance payée par les autres compagnies, compris celle due par le Metropolitan District.	36.300	907.500
Reste pour la dépense réelle.	70.474	1.761.850

La recette, pour ce laps de temps, se chiffre comme il suit:

	liv. st.	francs.
Recette, voyageurs.	196.140	4.903.500
Paquets, chevaux, voitures, bétail sur pied. .	103	2.575
Marchandises, minerais.	6.850	171.250
Revenus des stations pour l'usage commun, buffet, affiches.	12.638	315.950
Compte du nouveau fonds libérable.	15.000	375.000
Loyers provenant des immeubles libres de charges.	5.870	146 750
Total des recettes.	236.601	5.915.025
Balance à porter au compte du revenu net.	70.474	1.761,850
	166.127	4.153.175

On voit, d'après cela, que les frais d'exploitation ne seraient qu'à peine les 30 p. 100 du revenu brut.

En somme, sur les 166.127 £ disponibles, toutes dépenses du 1er semestre 1871 payées, après avoir servi les intérêts des divers titres, il reste, d'après le rapport, une somme applicable au dividende de 116.610 £ (2.915.250 francs). Il nous est impossible de savoir au juste dans quelle proportion ce résultat est avantageux pour les actionnaires. Toujours est-il qu'une action de 100 £ se vend en ce mo-

ment à la Bourse de Londres 72 £ seulement, c'est-à-dire avec une perte de 28 p. 100.

En ce qui concerne le produit moyen et le parcours moyen d'un voyageur, le rapport dit que du 1er janvier au 30 juin 1871, le Metropolitan Railway a transporté, tant sur sa ligne principale que sur ses embranchements, 25.653.331 voyageurs, qui lui ont rapporté 4.903.500 fr. ; c'est pour chaque voyageur un produit moyen de 0f,192, un peu moins de 2 pence. A raison de 1 schelling (1f,25) pour 18.000 mètres (de Moorgate Street à Mansion House), il faut compter 0f,07 par kilomètre, soit pour chaque voyageur un parcours de 2.700 mètres, ou un peu plus que l'intervalle d'une station à la troisième qui la suit. D'après ces éléments, le rapport énonçant que l'ensemble des trains qui ont circulé sur le Metropolitan Railway pendant la période qui nous occupe a parcouru 728.734 milles ou 1.172.533 kilomètres, on trouverait qu'étant donnés 69.209.993 voyageurs kilométriques, chaque train n'aurait contenu en moyenne qu'à peine 60 voyageurs.

Les éléments d'appréciation que nous possédons, relatifs au trafic, produits et dépenses du Metropolitan District, sont encore plus incomplets que ceux que nous venons de résumer pour le Metropolitan Railway. Le dernier rapport est d'août 1871 ; à cette date, on venait à peine d'ouvrir la section de Blackfriars à Mansion House. C'était encore le Metropolitan Railway qui exploitait, moyennant un tant pour 100 prélevé sur les recettes brutes.

La dépense totale, jusqu'au 30 juin 1871, s'élevait à 5.145.238 £ (128.630.950 francs), sur lesquels 468.198 £ (11.704.950 francs) sont afférentes au 1er semestre de 1871. Cette dépense des six derniers mois se décompose en 356.782 £ (8.919.550 francs) pour travaux et expropriations et 111.416 £ (2.755.400 francs) pour achats de matériel roulant, 24 machines et 152 wagons.

On estimait à 495.000 £ (12.375.000 francs) la somme

qu'on aurait encore à dépenser pour compléter les travaux et installations de toute nature, et comme à la compagnie du Metropolitan Railway, on semble beaucoup compter sur le prix des terrains disponibles à revendre pour suffire à cette dépense complémentaire.

La recette du 1er janvier au 30 juin 1871 est établie comme il suit :

	liv. st.	francs.
Voyageurs.	57.629	1.440.725
Produits des stations, buffets, affiches, etc. .	1.225	30.625
Premier total (A).	58.854	1.471.350
Locations diverses de terrains.	236	5.900
Ensemble.	59.090	1.477.250
Sur cette somme, produit brut, il a été prélevé, pour payer la compagnie du Metropolitan Railway, qui exploitait et entretenait, suivant convention, les 45 p. 100 du premier total (A), soit.	26.484	662.100
Pour payement de trains spéciaux et omnibus.	657	16.425
Pour charges générales, personnel d'administration, impressions, affiches.	3.819	95.475
Ensemble pour la dépense.	30.960	774.000

Restent 28.130 £ (703.250 francs) ou un peu moins de 48 p. 100 du produit brut, comme revenus nets afférents au 1er semestre du 1871, à porter en déduction des intérêts qui chargent le compte capital.

Le rapport fait bien savoir qu'il y a 11.500 mètres appartenant au District dès à présent construits et exploités, sur 12.150 mètres autorisés, mais comme nous ne trouvons nulle part le nombre de voyageurs transportés, il nous est impossible de donner le produit moyen et le parcours moyen d'un voyageur.

Paris, le 28 janvier 1872.

CHRONIQUE.

Janvier 1875.

N° 3

ACADÉMIE DES SCIENCES.

PRIX DÉCERNÉS POUR L'ANNÉE 1873.

Dans sa séance publique annuelle du 28 décembre 1874, l'Académie des Sciences a décerné à deux membres du Corps des ponts et chaussées deux des prix dont elle disposait pour l'année 1873.

Le prix *Dalmont* a été décerné à M. l'inspecteur général Graeff pour trois mémoires dont l'insertion au *Recueil des Savants étrangers* avait été décidée précédemment. Ces mémoires ont respectivement pour titres, savoir :

1° Mémoire sur le mouvement des eaux dans les réservoirs à alimentation variable ;

2° Mémoire sur l'action que la digue de Pinay exerce sur les crues de la Loire à Roanne (ce mémoire est une application de la théorie exposée dans le précédent) ;

3° Mémoire sur l'application des courbes des débits à l'étude du régime des rivières et au calcul des effets produits par un système multiple de Réservoirs.

Le prix *Montyon* (*statistique*) a été décerné à M. l'ingénieur Lucas, pour l'étude historique et statistique qu'il a faite, d'après les documents officiels, sur les voies de communication de la France.

Chemins de fer à voie étroite. — D'une communication récemment faite à la Société des ingénieurs civils par M. Jules Morandière, inspecteur à la Direction des chemins de fer de l'Ouest, nous extrayons textuellement les renseignements qui suivent sur l'état actuel des chemins de fer à voie étroite.

Europe.	En exploitation, plus de	1.063 kil. ;	en construction, plus de	110 kil.
Asie, Inde.	—	276	—	653
Canada,	—	736	—	600
États-Unis.	—	1.655	—	5.000
Divers pays.	—	165	—	
	Ensemble plus de	3.895 kil.	plus de	6.363 kil.

En Europe, la France compte plus de 52 kilomètres de chemins industriels de cette nature en exploitation, dont 15 kilomètres de chemins transportant voyageurs et marchandises livrés au service, et une foule de cette catégorie en construction ou projet. 33 kilomètres de chemins de mines existent en Algérie. Les pays qui en comptent le plus en exploitation sont : la Norwége 280, la Suède 263, la Russie 135, etc.

Dans l'Inde, outre les chiffres ci-dessus, il existe 2.760 kilomètres en projets, dont une partie sera à voie étroite, le reste étant fait à la voie normale de ce pays (1m,68), par raison stratégique seulement.

Les États-Unis ont adopté des chemins à voie réduite pour de grandes longueurs, et même des lignes destinées à devenir internationales, mais si nous supposons des chemins à voie réduite intercalés au milieu d'un réseau à voie de 1m,50, nous aurons, sans conteste, des chemins d'intérêt local. Les frais de transbordement imposés à ces lignes seront peu considérables si les précautions voulues sont prises, et s'il est fait un grand usage de caisses passant au moyen de grues d'un wagon plate-forme sur un autre : système déjà usité pour certaines marchandises, — marée, poterie, etc., sur les grandes lignes.

L'un des principaux avantages de la voie réduite, au point de vue de l'exploitation, est la grande diminution du poids mort transporté. Le poids des véhicules ordinaires a été toujours en augmentant par suite de l'accroissement de la longueur et de la vitesse des trains de toute nature. Avec es chemins à voie réduite, c'est-à-dire à trains courts marchant au plus à 50 kilomètres à l'heure, les conditions sont à peu près les mêmes qu'à l'origine des chemins de fer et le poids mort, rapporté à l'unité de charge, peut être diminué de 1/3 à moitié.

Nous pouvons citer en première ligne trois chemins situés parallèlement à une route, comme celui dit « Broëlthal, » mais avec rails en saillie et non au niveau de la route. Ce sont : en France la ligne de Lagny (près Paris) à Villeneuve-le-Comte et Neufmoutiers, avec prolongement décrété jusqu'à Mortcerf; en Italie, la ligne de Turin à Rivoli; en Suisse, le chemin de Lausanne à Échallens, garni de matériel fixe et roulant provenant de la liquidation du chemin provisoire du mont Cenis, système Séguier-Fell. Ces trois lignes, comme le Broëlthal prolongé, transportent des voyageurs et des marchandises.

Parmi les chemins purement industriels, se trouvent les suivants : mines de Rochebelle (Gard), — mines de Cessous et Trébiau (Gard), — Mokta-el-Hadid (Algérie), — Dinorwic (Angleterre), — arsenal de Chatham, — Banat (Hongrie), — embranchements du Oberschlesische (Prusse), — San Leone (Sardaigne), — Montepone (Sardaigne), — chemin de terrassements du Nord-Est-Suisse, — mines du Laurium (Grèce), — chemin agricole de Buskoet-Park en Angleterre.

Voici maintenant une liste de chemins transportant des voyageurs : Tallylin (Angleterre), — État de Norwége, — lignes diverses en Suède, — Livonie (Russie), — Novgorod à Tchudowa (Russie), — Ebensee à Ischl (Autriche), — Scheidek (Suisse), — Société des chemins secondaires

(Suisse), — projet de chemin du lac de Côme au lac Majeur (Suisse et Italie), — chemin de fer de l'Inde, — Queensland (Australie). — Kaissara (Nouvelle-Zélande), — Dunedin et Port-Chalmers (Nouvelle-Zélande), — Glasgow et cap Breton (Nouvelle-Écosse), — Toronto à Bruce, Toronto à Nipissing et divers (Canada), — Denver à Rio-Grande (Colorado) et divers (États-Unis), — Pimentel et Chiclayo, — Patillos (Pérou), — Tongoï (Chili), — Carizel (Chili), — Canta-Gallo (Brésil), — Matanzas (Havane), — Madeira à Mamoree (Bolivie), etc.

Les conditions d'établissement de ces chemins de fer sont des plus variées, nous nous contenterons dans ce résumé de signaler les termes extrêmes.

Les largeurs de voie varient de $0^m,45$ (arsenal de Chatham) à $1^m,22$. Les plus usitées sont celles de $0^m,76$, $0^m,93$ (États-Unis), 1 mètre (Lagny, Inde), et $1^m,067$ (Norwége, Russie). Les poids des rails sont de 12, 16, $17^k,5$, 20, 23, 26 et 31 kilog. par mètre courant.

Rails de 12 kilog. en acier (Cessous et Trébiau), l'espacement moyen des traverses est de $0^m,60$ pour des essieux de locomotives exerçant une pression de 4 tonnes. Les traverses ont $1,50+0,10+0,12$ pour une voie de 0,766.

Rails de 16 kilog. (Lagny), traverses espacées en moyenne de $0^m,75$ et ayant $1,60+0,10+0,16$: locomotives de $4^t,5$ par essieu.

Rails de 20 kilog. en fer (Norwége), traverses espacées de $0^m,76$, en bois de sapin, demi-rondes de 0,22 de diamètre et de $1^m,80$ de longueur. Les locomotives ont 7 tonnes par essieu. Pour le chemin de Mokta, les rails sont en acier, les traverses ont 0,12 sur 0,20, les autres conditions étant analogues.

Rails de 24 kilog. (Suisse), espacement moyen des traverses $0^m,98$: les traverses ont $1^m,60$ de longueur, et les locomotives exercent une pression de $7^t,5$ à 8 tonnes par essieu.

Les courbes de plus petit rayon, 25 mètres de rayon, se trouvent sur le chemin de Cessous à Trébiau, et les rampes de plus forte inclinaison, 5 centimètres par mètre, sur le chemin de Scheideck.

La vitesse des trains varie sur ces diverses lignes de 10 à 35 et même 40 kilomètres à l'heure.

Largeur à donner aux chemins à voie étroite. — M. Spooner, l'ingénieur du Festiniog, conseille $0^m,76$; M. Fairlie ne veut que la voie de $0^m,91$; l'administration royale dans l'Inde anglaise a adopté 1 mètre; les États de Norwége et de Russie ont choisi $1^m,067$.

Une grande latitude doit être laissée à ceux qui établissent les chemins. La voie de $0^m,91$ paraît une limite inférieure pour le bon établissement des voitures à voyageurs. Leur largeur ne doit pas dépasser deux fois et demie celle de la voie, et il faut environ $2^m,40$ à $2^m,50$ pour avoir une bonne utilisation de voiture à couloir intérieur ou extérieur.

Une commission de l'Union des chemins de fer allemands a conclu qu'il était de l'intérêt général de n'avoir que deux largeurs de voie : 1 mètre lorsque le chemin devra transporter des voyageurs, et $0^m,75$ s'il est seulement industriel. La Suisse a pratiquement adopté et suivi cet avis.

N° 4

BIBLIOGRAPHIE.

Du régime des travaux publics en Angleterre.

Rapport adressé à M. le Ministre des travaux publics par M. Ch. de Franqueville, maître des Requêtes au Conseil d'État, secrétaire de la Commission centrale des chemins de fer (*).

C'est à la suite de plusieurs missions remplies en Angleterre que M. Charles de Franqueville a adressé au ministre, le 8 septembre dernier, le rapport dont il s'agit. Renseigné aux sources les plus sûres et ayant vu s'ouvrir pour lui toutes les archives du *Board of Trade*, comme celles des compagnies de chemins de fer, l'auteur n'aurait eu, s'il fallait l'en croire, qu'un seul embarras, celui « de choisir parmi l'énorme quantité de matériaux et de renseignements » qu'il avait recueillis. Il a pu traiter ainsi de la manière la plus détaillée et la plus complète toutes les questions concernant la législation et l'administration des chemins de fer, des routes, des cours d'eau, des ports et docks, des phares et balises, en même temps qu'exposer et discuter bien des faits économiques ou financiers qui se rattachent aux diverses voies de communication.

Les chemins de fer occupent naturellement, dans cette étude, une place prédominante. L'historique de leur création successive, — la manière dont les concessions se demandent, s'instruisent et s'accordent, avec les détails les

---

(*) Hachette et Cie, éd., 79, boulevard Saint-Germain. Paris, 1874. 4 vol. in-8°.

plus précis sur la procédure parlementaire, — les effets de l'autorisation législative en ce qui concerne l'occupation des terrains, — le contrôle du gouvernement, — le mode d'administration des compagnies, — de très-nombreux détails financiers sur le transport des voyageurs et des marchandises, — le mode de constitution des réseaux en Angleterre, en Écosse et en Irlande, — les rapports des compagnies entre elles, — enfin la marche prescrite pour la liquidation de celles dont les espérances primitives sont déçues : tel est le vaste cadre parcouru par l'auteur du Rapport, en ce qui concerne les voies ferrées. L'un des chapitres les plus instructifs est certainement celui qui traite de la concurrence originaire des compagnies et du monopole effectif qu'elles se partagent aujourd'hui. De nombreuses citations, textuellement extraites des enquêtes parlementaires, établissent de la manière la plus authentique et la plus saisissante quelle est en Angleterre, sur cette grave question, l'opinion des hommes les plus compétents et les plus autorisés.

Nous nous bornons également à indiquer les principales questions traitées relativement aux *routes*, savoir : l'organisation du service d'entretien, — l'administration paroissiale, — les bureaux ou *districts* de routes qui, depuis une dizaine d'années, par suite d'un besoin de centralisation facile à comprendre, se substituent à l'action isolée des paroisses, — les routes à péage, dont le nombre, diminuant graduellement, est tombé de 1.112 à 635 en Angleterre dans l'intervalle de 1854 à 1874, — enfin le réseau et le budget de la voirie dans chacun des trois royaumes.

En ce qui concerne les *tramways*, « il n'y a, dit l'auteur « du Rapport, ni dans la législation ni dans la pratique « anglaises, aucun point qui mérite de fixer l'attention. »

Au sujet des *locomotives routières*, la législation anglaise paraît très-imparfaite ; « elle n'est d'ailleurs que provisoire

« et n'offre aucune disposition spéciale qui mérite d'être « signalée. »

Sur le *régime de la navigation*, nous ne croyons pouvoir mieux faire que de transcrire la « *conclusion* » formulée par l'auteur ainsi qu'il suit :

« Les voies navigables du Royaume-Uni représentent une « longueur totale de 6.670 kilomètres, tandis que celles de « la France ont un développement de 11.642 kilomètres (*). « Notre réseau est donc notablement plus considérable, « même proportionnellement à l'étendue respective des « territoires de chaque pays.

« Le régime de ces voies de communication diffère, « d'ailleurs, profondément des deux côtés du détroit. Tous « les canaux d'Angleterre, sans exception, appartiennent « à des compagnies et l'État ne possède que 478 kilomètres « de voies navigables en Écosse et en Irlande. La propor- « tion est précisément inverse en France, où l'État admi- « nistre directement toutes les voies navigables, à l'excep- « tion de 964 kilomètres qui se trouvent entre les mains « de compagnies.

« Il est malheureusement impossible, en l'absence de « toute statistique officielle, d'établir une comparaison « entre le tonnage et le montant des droits perçus dans « les deux pays. Mais il est difficile de contester que la « navigation intérieure fait aux chemins de fer une concur- « rence plus sérieuse en France qu'en Angleterre, précisé- « ment à cause de l'extrême modicité des tarifs. L'État, en « effet, perçoit seulement 3.700.000 francs par an, tandis « qu'il dépense pour ce service près du triple de cette « somme, et il contre-balance ainsi, dans une certaine

---

(*) « Canaux. . . . . 4.320 kilom.
« Rivières canalisées . . . . 3.162 —
« Rivières non canalisées. . . . . 4.160 —

« mesure, les inconvénients que peut présenter le mono-
« pole des voies ferrées.

« En Angleterre, beaucoup de canaux appartiennent à « leurs rivaux les plus dangereux; toutes les grandes voies « de navigation sont ainsi coupées et interceptées, et le « pays est privé de la majeure partie des bénéfices que « devrait lui assurer la navigation intérieure. Le seul re- « mède à cette situation, on le sait bien au delà du détroit, « serait précisément d'adopter notre système ; mais cette « solution n'est pas encore près d'être acceptée.

« La question est plus large, d'ailleurs; elle ne se pose « pas seulement à propos des voies navigables, car le ser- « vice des ports de commerce, des docks et des phares est « soumis au même régime, et il faudrait se demander s'il « convient que l'État se charge lui-même d'exécuter et « d'entretenir tous les travaux relatifs à la navigation, « comme cela se fait en France, ou bien si le système an- « glais est préférable, qui laisse à des compagnies ou à des « particuliers la direction exclusive de ce service. Enfin, « les dépenses doivent-elles être acquittées sur les fonds « de l'État, ou couvertes au moyen de perceptions de « droits de péage ?

« Il semble qu'en théorie le système anglais est plus « juste que le nôtre. Si l'on comprend que les routes, les « rues ou les ponts doivent être libres parce que tout le « monde en profite, la même raison n'existe pas en ce qui « concerne la navigation. Les ports, les rivières, les canaux « sont exclusivement fréquentés par des entrepreneurs de « transports, et il est difficile de comprendre pourquoi l'on « n'y percevrait pas des droits comme sur les chemins de « fer.

« Mais, en pratique, l'exemple de l'Angleterre n'est pas « fait pour exciter l'envie, du moins en ce qui concerne « les voies navigables, et peut-être vaut-il mieux, après « tout, violer un principe que laisser périr la batellerie.

« Les Commissions d'égouts et les Bureaux de drainage, « qui s'occupent, dans le Royaume-Uni, des travaux de « desséchement et d'irrigation, présentent, avec nos asso- « ciations syndicales, beaucoup d'analogies et il n'y a « aucun point spécial à signaler dans la législation qui « les régit.

« Quant aux phares, les détails donnés dans le précé- « dent chapitre montrent que notre service est mieux « organisé, plus efficace et plus économique que celui des « Anglais. »

Voici la conclusion générale et finale du Rapport :

« Sans rien méconnaître des mérites du régime anglais, « peut-on dire qu'appliqué en France, ce système aurait « produit des résultats supérieurs à ceux que nous avons « obtenus par d'autres procédés?

« Notre voirie serait-elle plus développée, mieux établie, « mieux administrée? Nos voies navigables seraient-elles « aussi bien entretenues et aussi nombreuses, le service de « nos phares serait-il aussi satisfaisant, nos ports, enfin, « seraient-ils aussi vastes et aussi bien administrés?

« Quel esprit impartial et sérieux oserait répondre affir- « mativement à ces questions?

« Admettons cependant qu'il en soit ainsi et demandons- « nous si nous aurions lieu d'être satisfaits de la situation « présente et future que ce système aurait créée en « France.

« L'établissement et l'entretien de nos routes aurait « exigé des dépenses qui n'auraient pas été moindres; la « charge en aurait exclusivement grevé les budgets locaux, « mais n'en aurait pas moins pesé sur les contribuables. « Notre réseau serait probablement moins complet et « moins bien établi; nous aurions, à l'heure actuelle et « jusqu'à la fin du siècle peut-être, des barrières à péage, « non-seulement sur toutes nos routes nationales, mais en-

« core sur une partie du réseau départemental, et l'on « trouverait des ponts à péage au centre même de Paris.

« Un tiers de nos voies navigables appartiendrait ou- « vertement aux compagnies de chemins de fer et le sur- « plus se trouverait d'une manière occulte sous leur « dépendance, ou ruiné et sans valeur, parce qu'il n'exis- « terait plus, dans toute l'étendue du pays, une ligne non « interrompue de navigation libre.

« Pour quelques transports locaux seulement, il nous « resterait une batellerie indépendante; mais les droits de « navigation seraient infiniment plus élevés.

« Plusieurs de nos ports appartiendraient aux compa- « gnies de chemins de fer et, dans tous, nos vaisseaux se- « raient soumis au payement de péages considérables. « Nos phares, moins bien administrés, seraient entretenus « au moyen de taxes qui pèseraient encore sur notre ma- « rine.

« Et, pour nos chemins de fer, aurions-nous un réseau « plus complet et mieux dessiné? l'État jouirait-il de tous « les profits directs ou indirects qui lui sont acquis? au- « rait-il un moyen efficace d'assurer la sécurité des voya- « geurs, de protéger le commerce? aurions-nous la per- « spective de l'expiration des concessions? aurions-nous un « moindre monopole ou de moindres tarifs?

« Il n'est pas une de ces questions à laquelle il n'ait été « répondu dans les pages qui précèdent.

« Si donc nous voulons suivre l'exemple des Anglais, « n'imitons pas leurs fautes alors qu'ils les confessent « eux-mêmes; mais demandons-nous ce qu'ils feraient, « s'ils se trouvaient actuellement dans la situation où nous « sommes. Pour quiconque connaît le profond bon sens « de ce peuple, la réponse n'est pas douteuse; on peut « se tenir assuré qu'il se garderait de lâcher la proie qu'il « tient, et qu'il n'irait pas courir après l'ombre! »

M. Ch. de Franqueville a joint à son rapport une traduction, parfois analytique, généralement littérale, des lois qui régissent les travaux publics dans chacune des trois parties du Royaume-Uni, Angleterre, Écosse et Irlande. Une table finale rend faciles toutes les recherches que l'on peut avoir à faire dans ce vaste répertoire, si riche de faits dont beaucoup ne sont que très-imparfaitement connus en France.

Janvier 1875.

E. M.

N° 5

TRAVAUX EXÉCUTÉS POUR LA CONDUITE D'EAU

DE LA VILLE DE SAINT-ÉTIENNE

ET LA CONSTRUCTION DU RÉSERVOIR DU FURENS.

NOTICE

Par M. DE MONTGOLFIER, ingénieur des ponts et chaussées.

---

1. *Exposé.* — Nous avons été appelé de 1861 à 1866 à exécuter, sous les ordres de M. l'inspecteur général Graeff, alors ingénieur en chef du département de la Loire, et en notre qualité d'ingénieur ordinaire de l'arrondissement de Saint-Étienne, des travaux importants ayant pour but de préserver la ville de Saint-Étienne contre les inondations et d'assurer son alimentation en eau potable; nous avons pensé, en raison de l'intérêt tout particulier qui s'attache aujourd'hui à ces sortes de questions, qu'une notice sur ces travaux serait bien accueillie par les lecteurs des *Annales*. Nous avons été encouragé dans cette voie par M. Graeff, qui, dans un mémoire paru dans le 5e cahier des *Annales* de 1866 sur le mode de construction des grands barrages, a bien voulu annoncer l'insertion prochaine de cette notice. On excusera les détails trop circonstanciés peut-être dans lesquels nous avons cru devoir entrer, lorsqu'on saura qu'ils nous ont été souvent demandés par un grand nombre de nos camarades et d'ingénieurs étrangers qui ont eu à s'occuper ou de construction de

grands réservoirs ou de distributions d'eau ; nous avons pensé qu'il leur serait agréable de les trouver réunis dans un même article des *Annales*, et que cette circonstance nous ferait trouver grâce à leurs yeux.

La ville de Saint-Étienne, assise sur le bassin houiller le plus riche de France, est bâtie sur le versant nord-ouest de la chaîne du Pilat, à l'altitude moyenne de 525 mètres au-dessus du niveau de la mer. Elle est traversée dans toute sa longueur du sud au nord par la rivière du Furens, qui prend sa source au Bessat, à 1.200 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, et se jette dans la Loire à Andrezieux après un parcours total de 30 kilomètres. Le cours d'eau, dont le module n'est que de 350 litres par seconde et dont le débit descend en été à 100 litres, a rendu et rend encore les plus grands services à l'industrie de la localité. Il alimente des usines importantes consistant principalement en teintureries pour les soies et cotons, en aiguiseries pour les canons de fusil, en fabriques de lacets et de rubans. De plus, il remplit les fonctions d'un égout collecteur et entraîne dans les plaines situées à l'aval de Saint-Étienne les déjections de toute la ville.

Tant que Saint-Étienne n'a compté qu'une population de 30 à 35.000 habitants, le Furens a suffi à peu près à tous les besoins de la cité. Mais cette population ayant triplé de 1830 à 1852, on reconnut bientôt que le volume d'eau dont on disposait n'était plus à la hauteur des besoins. Les eaux de la rivière, salies par les usines, ne tardèrent pas à devenir impropres aux usages domestiques, et il fallut songer à assurer aux 100.000 habitants que comptait l'agglomération Stéphanoise une alimentation en rapport avec son importance toujours croissante.

Plusieurs projets furent étudiés dans ce but. On songea d'abord à dériver les eaux de la Semène, affluent de la Loire, qui descend comme le Furens des plateaux du Pilat, mais on renonça à cette idée tant à cause de l'insuffisance

de leur débit que des réclamations que cette dérivation aurait soulevées de la part des usiniers de la vallée. On proposa ensuite de prendre l'eau directement dans la Loire, soit par un canal de dérivation, soit à l'aide de machines élévatoires établies au Pertuiset. Ces deux moyens furent regardés l'un et l'autre comme trop dispendieux : le premier comportait, en raison de l'altitude de Saint-Étienne, un canal de 160 kilomètres de longueur dans un terrain difficile, et le second entraînait l'établissement de machines coûteuses et la construction d'un aqueduc de 14 kilomètres. D'ailleurs, en prenant l'eau à la Loire, on n'eût eu que des eaux troubles au moment des crues, qui sont extrêmement fréquentes, aussi bien dans la saison d'été que dans la saison d'hiver.

Ces projets ne résolvaient pas la question d'une manière satisfaisante ; celui qui obtint l'assentiment du conseil municipal fut présenté par MM. Graeff, ingénieur en chef, et Conte-Grandchamps, ingénieur ordinaire, en mars 1858, et approuvé par décret le 30 avril 1859. Il consistait à dériver, au profit de la ville de Saint-Étienne, les sources de la partie supérieure de la vallée du Furens. Il était complété par le projet d'un réservoir à établir sur ce cours d'eau, dans le but de préserver la ville de Saint-Étienne des inondations périodiques auxquelles elle était exposée, de lui fournir le volume d'eau complémentaire dont elle avait besoin en été, enfin de rendre aux usines l'eau qui serait dérivée à leur détriment par l'aqueduc des sources. Ce projet, qui était un corollaire nécessaire du précédent, fut approuvé par décret du 2 juin 1859. L'État se chargeait de faire exécuter les travaux du réservoir et s'engageait à concourir à la dépense pour une somme fixée, y compris les acquisitions de terrains, à 610.000 francs. Ces projets avaient le triple avantage d'assurer à la ville de Saint-Étienne une alimentation en eau pure, saine, abondante, d'améliorer le régime du Furens en été, et par suite de

donner un nouvel essor à l'industrie établie sur son cours, enfin de mettre pour toujours la ville de Saint-Étienne à l'abri des inondations qui avaient atteint en 1849 les proportions d'une véritable calamité publique. Ils furent accueillis avec faveur par la population, et, dès la fin de l'année 1859, les travaux furent entrepris.

Leur dépense totale, y compris les acquisitions de terrain et la subvention de l'État, spécialement affectée au réservoir du Furens, s'est élevée à 5 millions de francs.

Ils n'ont été complétement terminés qu'en 1866; mais dès l'année 1863 les eaux de sources arrivaient à Saint-Étienne et étaient distribuées dans les principaux quartiers de la ville par l'ancienne canalisation.

Nous nous proposons de décrire dans la présente notice les travaux que nous venons d'énumérer. Nous la diviserons en trois parties.

Dans le chapitre Ier, nous nous occuperons des captages de sources et de la distribution des eaux dans la ville.

Le chapitre II sera consacré aux travaux du réservoir du Furens.

Enfin, dans le chapitre III, nous indiquerons la dépense totale des travaux et les résultats qu'ils ont donnés.

DISTRIBUTION D'EAU DE SAINT ÉTIENNE

1 Fig. 1. Plan général de la partie supérieure de la vallée du Furens

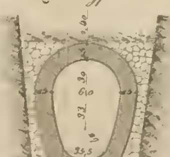


Sections transversales de l'aqueduc principal

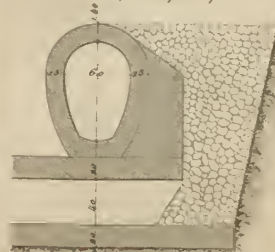
D. Fig. 14. Type N° 1. Rigole principale. Coupe suivant ABCD



D. Fig. 16. Type N° 2



D. Fig. 19. Aqueduc de décharge sous l'aqueduc principal



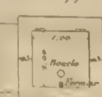
E. Fig. 27. Regard à l'origine des chutes
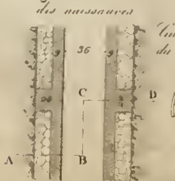


E. Fig. 28. Regard de jonction des captages avec la rigole principale



E. Fig. 29. Plan d'une trappe de regard



D. Fig. 15. Plan au niveau des naissances



D. Fig. 17. Cintre au moment du décintrement

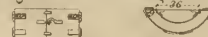


D. Fig. 18. Type N° 3 avec gabarit et cintre



Chassis en tôle pour le moulage de la couverture de la rigole principale

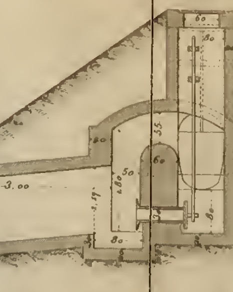
D. Fig. 22. Élévation — D. Fig. 23. Plan

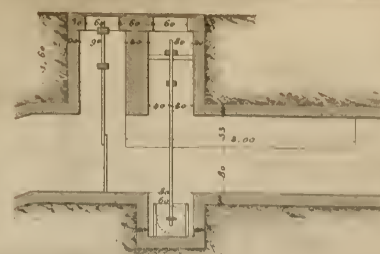


Chassis après le démoulage

Diversoir et vanne de décharge de l'aqueduc principal

B. Fig. 32. Élévation de la tête de l'aqueduc principal





E. Fig. 33. Plan au niveau du diversoir

Fermeture des plaques de regard

Fig. 2. Plan (le cache de rabattu)

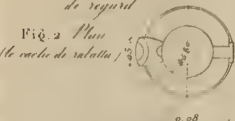
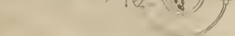


Fig. 3. Coupe

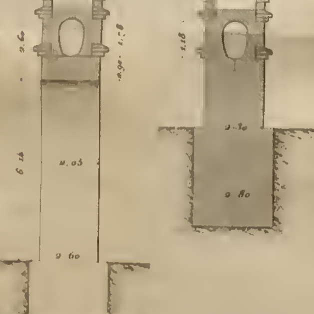


Fig. 4. Plan (le cache de relevé)



Pont aqueduc du Pas du Riot

B Fig. 5. Coupe à la clé — B. Fig. 6. Coupe de la culée



C. Fig. 20. Détails d'un étrier pour regard de jonction

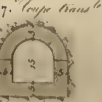
B. Fig. 21. Regard de jonction des captages avec l'aqueduc principal

Gabarit pour la construction de la rigole princ^le

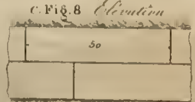
D Fig. 25. Plan — D Fig. 26. Coupe trans^le

Type des conduites de 0,15 sur 0,15

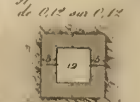
C Fig. 7. Coupe trans^le



C. Fig. 8. Élévation

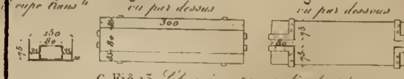


C Fig. 9. Type des conduites de 0,12 sur 0,12

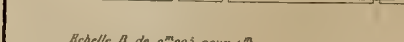


Chassis pour le moulage des conduites en ciment

C Fig. 10. Coupe trans^le — C Fig. 11. Chassis int^r vu par dessus — C Fig. 12. Chassis int^r vu par dessous

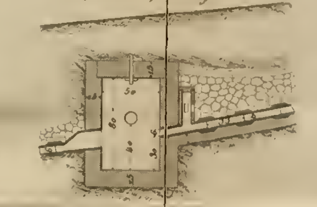


C Fig. 13. Chassis extérieur développé

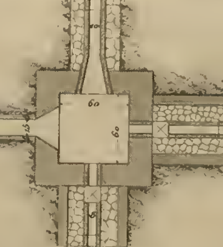


Regard de jonction sur conduites en ciment

D. Fig. 34. Coupe longitudinale



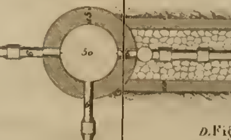
D. Fig. 35. Coupe horizontale



Regard de jonction sur conduites en poterie

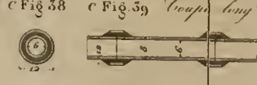
D. Fig. 36. Coupe longitudinale

D Fig. 37. Coupe horizontale



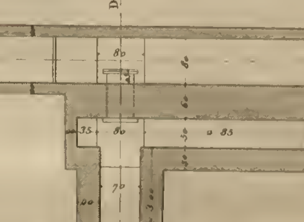
Type des conduites en poterie

C Fig. 38 — C Fig. 39. Coupe long^le



Barrage de prise d'eau sur une conduite de 0,10

D. Fig. 40. Coupe longitudinale



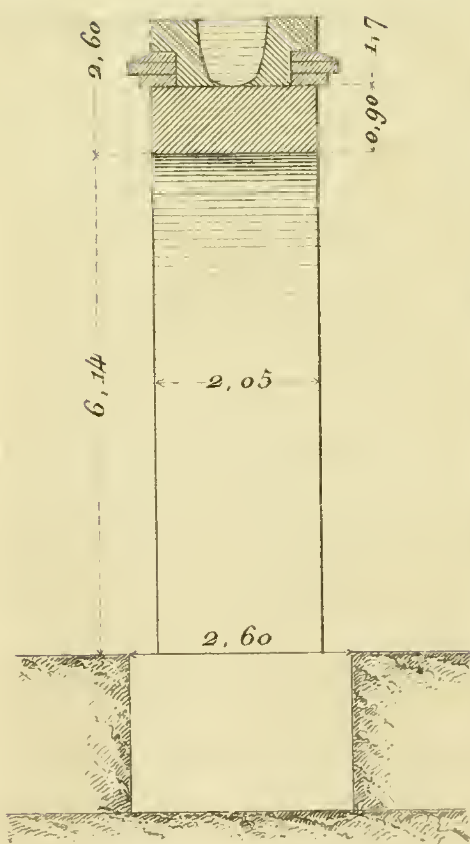


D. Fig. 41. Coupe trans^le — D Fig. 42. Coupe parallèle à la conduite

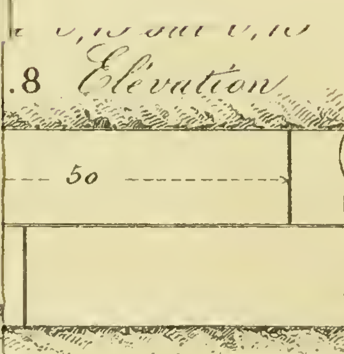


Echelle A de 0m01 pour 1 km — Echelle B de 0m005 pour 1 m — Echelle C de 0m05 pour 1 m — Echelle D de 0m02 pour 1 m — Echelle E de 0m01 pour 1 m

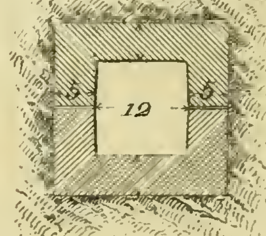
Gravé par B. Perot



.8 *Élévation*

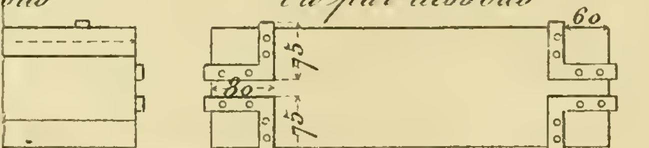


de 0,12 sur 0,12

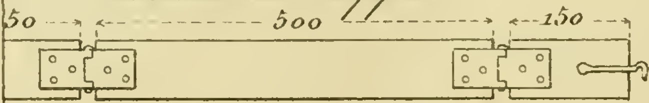


lage des conduites en ciment

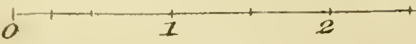
is intʳ C Fig.12 *Chassis intʳ vu par dessous*



ssis extérieur développé



Echelle A de 0ᵗ pour 1ᵐ



Echel



Pérot

CHAPITRE PREMIER.

Travaux exécutés pour l'alimentation en eau de sources de la ville de Saint-Étienne.

AQUEDUC DES SOURCES ET TRAVAUX ACCESSOIRES.

2. *Projet présenté en* 1858. — Le projet d'alimentation de la ville de Saint-Étienne présenté en 1858 consistait à recueillir dans des rigoles souterraines les sources qui émergent des terrains primitifs de la vallée supérieure du Furens, à les jeter dans un aqueduc en maçonnerie de ciment pour les conduire dans un réservoir de distribution situé à proximité de la ville de Saint-Étienne, et à un niveau suffisant pour assurer par une conduite forcée l'alimentation des quartiers les plus élevés. Ce projet a été exécuté sans modifications importantes.

3. *Tracé de l'aqueduc.* — L'aqueduc principal a son origine près du Bessat au point *a* du plan (voir Pl. 4, *fig.* 1), à la cote 1190 mètres au-dessus du niveau de la mer ; il suit la rive gauche de la vallée depuis ce point jusqu'au Pas du Riot au point *d* du plan ; là il franchit le Furens pour s'établir sur la rive droite, contourner le réservoir du gouffre d'Enfer, et descendre au point *e* par des chutes successives dans la vallée latérale d'Issertine. Il revient dans la vallée du Furens après avoir traversé en souterrain le contre-fort de Corbière, se développe à flanc de coteau au-dessous du village de Rochetaillée, et traverse le chemin vicinal n° 19 de Saint-Étienne à Serrières, qu'il suit jusqu'au bassin de distribution du Rey (point *f* du plan) situé à 625 mètres au-dessus du niveau de la mer sur le col qui sépare le Furens du Chavanelet.

La région proprement dite des sources ne s'étend que de l'origine de l'aqueduc (point *a* du plan), au Pas-du-Riot

(point *d* du plan). Dans ce parcours, qui s'effectue presque en entier dans les belles forêts de sapins qui recouvrent les plateaux de la chaîne du Pilat, l'aqueduc reçoit successivement le produit des captages des sources de vingt-deux ruisseaux dont les principaux sont la Travary, le Furens, le pré Dorel, les Creuses, le Grivet, le Four, la Digonnière, les Tours, la République et le Condurant. Au delà du Pas-du Riot l'aqueduc établi sur un terrain déboisé ne recueille plus que quelques sources insignifiantes qui tarissent généralement en été.

Lorsque le débit des captages au moment des sécheresses descend au-dessous des besoins de la ville, l'aqueduc peut être mis, au point *e*, à son passage dans la vallée d'Issertine, en communication avec la conduite de vidange *eh* du réservoir du gouffre d'Enfer qui lui fournit le complément nécessaire pour assurer l'alimentation de Saint-Étienne.

4. *Profil en long de l'aqueduc.* — L'aqueduc a un parcours total de 17.585^{m},75 et présente dans son ensemble (voir Pl. 4, *fig.* 1) une série de biefs à faible pente rachetés par des plans inclinés de 0^{m},12 à 0^{m},30 par mètre et mesurant une hauteur totale de chute de 6 à 33 mètres. Cette disposition a permis d'éviter les vitesses excessives qui auraient été atteintes si l'on avait adopté la pente continue de la rivière, de ramener l'aqueduc dans le bas de la vallée de façon à le placer partout en contre-bas des points d'émergence des sources, enfin de créer des chutes qui sur toute la partie de l'ouvrage comprise entre le ruisseau des Creuses et le bassin du Rey peuvent être utilisées par l'industrie à l'aide de turbines prenant l'eau par une conduite en fonte en amont de la chute et la rendant à l'aqueduc en aval. La pente dans les biefs varie de 0^{m},01 à 0^{m},005 entre l'origine et le ruisseau des Creuses; elle n'est plus que de 0^{m},003 par mètre entre ce dernier point et le bassin du Rey.

5. *Profils-types de l'aqueduc.* — L'aqueduc, construit

dans toute sa longueur en maçonnerie de ciment de Vassy, est voûté et présente quatre types différents dont nous devons indiquer les dimensions et le mode de construction (*).

Le type n° 1, qui a été désigné dans les avant-projets, sous le nom de rigole principale, est appliqué sur une longueur de 3.061^m,50 depuis l'origine, point *a* du plan, jusqu'au ruisseau des Creuses, point *b*. Sa section (voir Pl. 4, *fig.* 14 et 15) est formée de deux pieds-droits de 0^m,40 de hauteur, laissant entre eux une largeur de 0^m,35 à la base et de 0^m,36 au niveau des naissances, reposant sur un radier de 0^m,09 d'épaisseur et supportant une voûte en anse de panier à trois centres de 0^m,36 de corde sur 0^m,12 de flèche. La maçonnerie a 0^m,09 d'épaisseur. Les pieds-droits sont raccordés avec le radier par des solins de 0^m,05 de rayon. Tout l'intérieur de l'aqueduc jusqu'aux naissances est revêtu d'un enduit en ciment de 0^m,015 d'épaisseur.

Le type n° 2 (voir Pl. 4, *fig.* 16) est appliqué sur une longueur de 2.187^m,15 depuis le ruisseau des Creuses, point *b* du plan, jusqu'au ruisseau du Four, point *c*. Sa section est ovoïde et présente 0^m,90 de hauteur et une largeur de 0^m,60 aux naissances et de 0^m,355 au niveau du radier. La voûte est un plein cintre de 0^m,60 de diamètre ; le radier est décrit suivant un arc de cercle de 0^m,355 de corde et de 0^m,07 de flèche. Les maçonneries, revêtues intérieurement jusqu'au niveau des naissances d'un enduit ou ciment de 0^m,03, ont une épaisseur de 0^m,15.

Le type n° 3 (voir Pl. 4, *fig.* 18) est appliqué sur une longueur de 4.395^m,69 depuis le ruisseau du Four, point *c* du plan, jusqu'au pont du Pas-du-Riot, point *d*. Sa section

(*) Ces types ont été calculés dans l'avant-projet présenté par MM. Graeff et Conte-Grandchamps de manière à débiter non-seulement les sources du Furens, mais aussi celles du Gier, de la Semène, du Furet, de la Deôme, qui pourraient être amenées par des rigoles dans la vallée du Furens si l'accroissement de la ville de Saint-Étienne l'exigeait dans l'avenir.

est ovoïde comme la précédente, et présente $1^m,15$ de hauteur avec une largeur de $0^m,70$ aux naissances et de $0^m,483$ au niveau du radier. La voûte a $0^m,70$ de diamètre, et le radier $0^m,08$ de flèche. Les maçonneries, revêtues intérieurement d'un enduit de $0^m,03$ en mortier de ciment de Vassy, ont $0^m,18$ d'épaisseur.

Le type n° 4 est appliqué sur une longueur de $7.742^m,41$, depuis le Pas-du-Riot, point *d* du plan, jusqu'au bassin du Rey, point *f*. Sa section affecte la même forme que celle des types n°s 2 et 3 et présente $1^m,52$ de hauteur avec une largeur de $0^m,80$, aux naissances et de $0^m,50$ au niveau du radier ; la voûte a $0^m,80$ de diamètre et le radier $0^m,10$ de flèche. Les maçonneries, revêtues jusqu'au niveau des naissances d'un enduit de $0^m,03$ en mortier de ciment, ont une épaisseur de $0^m,20$.

Du Pas-du-Riot au bassin du Rey, l'aqueduc traverse en souterrain quatre contreforts ayant une longueur ensemble de $331^m,50$. Dans ces parties la hauteur sous clé a été portée à $1^m,70$; les autres dimensions ont été maintenues sans modification.

Afin d'éviter l'action de la température ambiante sur l'eau des sources, l'aqueduc établi en déblais dans tout son parcours est recouvert d'une couche de terre de $1^m,20$ d'épaisseur sur toute la longueur du type n° 1, et de $1^m,40$ sur toute la longueur des types n°s 2, 3 et 4.

Dans les chutes, la section de l'aqueduc, type n° 1, est conservée, mais celle des types 2, 3 et 4 est légèrement modifiée (voir Pl. 4, *fig.* 27) ; pour faciliter la visite de l'ouvrage et éviter que l'eau par sa vitesse ne corrode les enduits, on a établi le radier par redans et formé ainsi des escaliers de $0^m,50$ à $0^m,60$ de foulée et de $0^m,15$ à $0^m,20$ de hauteur de marche, suivant la pente de la chute. Cette disposition a parfaitement réussi, et depuis le jour où l'aqueduc fonctionne, nous n'avons remarqué aucune trace de dégradation dans les enduits.

6. *Contre-forts en maçonnerie de l'aqueduc.* — Pour consolider l'aqueduc dont l'épaisseur a été réduite autant que possible, on a construit des contre-forts en maçonnerie de ciment de $0^m,20$ d'épaisseur, tantôt simples, tantôt doubles (voir Pl. 4, *fig.* 14 et 15), destinés à relier les pieds-droits avec les parois des fouilles et espacés de 5 à 6 mètres dans les courbes et de 10 à 15 mètres dans les parties droites. On a ensuite garni en pierres sèches tout le vide compris entre les pieds-droits et les talus de déblais. On a d'ailleurs eu soin d'établir des aqueducs de décharge (voir Pl. 4, *fig.* 19) passant sous le radier de l'ouvrage et débouchant dans la vallée partout où l'on avait à redouter une pression d'eau contre la paroi extérieure de l'aqueduc.

7. *Murs de soutènement.* — Dans toutes les parties du tracé où il a été nécessaire de construire des murs de soutènement, ils ont été établis en maçonnerie ordinaire jusqu'au niveau de l'extrados de la voûte ; le surplus a été exécuté en pierres sèches et les joints du parement ont été remplis de mortier.

8. *Regards.* — Des regards de service destinés à assurer la visite et l'entretien de l'aqueduc ont été ménagés tous les 200 mètres environ ; en outre, des regards spéciaux ont été construits : 1° à l'extrémité des chutes de la rigole principale ; 2° à l'origine et à l'extrémité des chutes de l'aqueduc ; 3° à la jonction des principaux captages ; 4° au droit des déversoirs et vannes de décharge.

Les regards ordinaires de service sont rectangulaires et présentent $0^m,70$ de largeur sur toute la longueur du type n° 1, $0^m,80$ sur toute la longueur des types n°s 2, 3 et 4. A l'aplomb des regards est ménagé dans le radier de l'aqueduc un puisard de $0^m,20$ de profondeur destiné à arrêter les sables et à faciliter leur enlèvement. Les maçonneries ont $0^m,20$ d'épaisseur avec un enduit en ciment de $0^m,03$ sur toute leur surface.

Les regards à l'origine et à l'extrémité des chutes (voir Pl. 4, *fig.* 27) ont les mêmes dimensions que les regards ordinaires.

Ceux à l'aval des chutes sur la rigole principale sont munis de puisards de $1^m,40$ de longueur sur $0^m,60$ de profondeur, dans lesquels on peut pénétrer librement pour enlever les sables et les dépôts qui peuvent y être retenus; ils ont en outre pour but d'amortir la vitesse de l'eau. Ceux à l'amont et à l'aval des chutes sur l'aqueduc principal sont destinés à faciliter l'établissement et l'entretien des conduites en fonte prévues pour la mise en mouvement des turbines. Le regard d'amont donne accès à un puisard de 2 mètres de longueur sur $1^m,20$ de profondeur, dans la face latérale duquel est encastré un tuyau en fonte de $0^m,50$ de diamètre fermé actuellement par une plaque pleine et qui devra être prolongé jusqu'au regard d'aval lorsque l'industrie voudra utiliser la force motrice disponible. Le regard de fin de chute est un regard ordinaire sans puisard.

Les regards de jonction des captages avec l'aqueduc (voir Pl. 4, *fig.* 28 et 21) se composent de deux compartiments dont le premier forme la chambre d'arrivée des eaux et le deuxième le regard proprement dit qui est mis en communication avec l'aqueduc par une ouverture de $0^m,20$ de diamètre percée dans le pied-droit de l'ouvrage au niveau des naissances. L'eau pénètre du premier compartiment dans le second à l'aide d'un déversoir de $0^m,70$ de longueur, dont la crête est établie à $0^m,15$ en contre-haut du point d'arrivée de la conduite de captage. Cette disposition a pour but d'éviter l'action de l'eau contre les parois de la maçonnerie et d'arrêter dans le puisard de la première chambre les sables qui pourraient être entraînés. Un clapet métallique (voir Pl. 4, *fig.* 20) garni de cuir, battant sur une plaque de bronze et manœuvré par une tige à crémaillères, permet de régler à volonté l'introduction de l'eau dans l'aqueduc. Le trop-plein s'écoule par un déversoir qui est

ouvert dans une des faces latérales du regard et qui décharge les eaux dans la vallée à l'aide d'un conduit maçonné établi transversalement sur la voûte de l'aqueduc principal. Les deux chambres des regards de jonction sont très-facilement accessibles. On descend directement dans la deuxième, qui est la plus voisine de l'aqueduc, et de là on pénètre dans la première, dont le puisard peut être nettoyé toutes les fois qu'on le juge utile. Les maçonneries des regards de jonction ont $0^m,30$ d'épaisseur et sont revêtues d'un enduit de $0^m,03$.

9. *Déversoirs et vannes de décharge.* — Des déversoirs avec vannes d'arrêt et de décharge ont été établis sur quatre points de l'aqueduc pour en faciliter la vidange et empêcher que l'eau dans aucun cas ne dépasse le niveau auquel il serait dangereux de la voir s'élever. Ces déversoirs (voir Pl. 4, *fig.* 30, 31, 32 et 33) sont tous construits sur le même type. Nous décrirons celui qui a été établi à l'extrémité du grand bief compris entre le Pas-du-Riot et Issertine.

Le pied-droit de l'aqueduc du côté de la vallée, sur toute la longueur du déversoir qui est de 4 mètres, est remplacé par une murette de $0^m,60$ d'épaisseur, dont le couronnement est établi à $0^m,15$ en contre-bas de la naissance de la voûte de l'aqueduc.

L'eau qui s'épanche sur sa crête tombe dans une rigole latérale de $0^m,50$ de largeur qui communique avec un aqueduc de décharge. Une voûte en arc de cercle de $1^m,90$ d'ouverture et de $0^m,30$ de flèche recouvre la rigole et l'aqueduc. Dans le mur du déversoir et en face de l'aqueduc de décharge, on a encastré en face d'un puisard de $0^m,80$ de profondeur un tuyau en fonte de $0^m,30$ de diamètre, fermé à son origine par une vanne.

Immédiatement à l'aval est établi dans l'aqueduc une vanne d'arrêt qui peut fermer sa section jusqu'au niveau des naissances. Cette vanne d'arrêt et la vanne de décharge

peuvent être manœuvrées par deux regards accolés ; elles glissent dans des coulisses en bronze et sont élevées ou abaissées à l'aide d'une tige filetée qui commande un écrou fixé à la vanne. On voit par cette disposition que lorsque la vanne d'arrêt est fermée et que la vanne de décharge est ouverte, on peut rejeter dans la vallée tout le volume d'eau affluent d'amont. Le déversoir empêche d'ailleurs que le niveau de l'eau atteigne la naissance de la voûte, ce qui pourrait en compromettre la solidité.

10. *Fermeture des regards.* — Tous les regards que nous venons de décrire sont fermés par des trappes en tôle (voir Pl. 4, *fig.* 29) tournant autour de deux gonds scellés sur l'un des côtés du cadre en pierre de taille qui couronne les regards. Le côté opposé du cadre porte en son milieu une patte en fer, sur laquelle l'extrémité de la trappe vient reposer ; le mode de fermeture est indiqué (Pl. 4, *fig.* 2, 3 et 4) ; il consiste en une vis dont la tête, en forme de cœur, permet d'assujettir la trappe. Pour éviter que les passants n'enlèvent cette vis et ne soulèvent la trappe, sa tête est cachée dans un fermoir en bronze dont le chapeau est assujetti latéralement par une petite vis à tête triangulaire. Pour ouvrir les regards, il faut ou casser le fermoir qui est très-solide et très-résistant, ou se munir de deux clefs destinées l'une à enlever la petite vis du fermoir, l'autre à enlever la grande vis de la plaque. Ce système de fermeture très-simple a remplacé avantageusement les cadenas à lettres qui avaient été d'abord adoptés.

11. *Pont du Pas-du-Riot.* — L'ouvrage d'art le plus important qu'on rencontre sur l'aqueduc est le pont du Pas-du-Riot. (Voir Pl. 4, *fig.* 5 et 6.) Il se compose d'une seule arche elliptique de $24^{m},56$ d'ouverture sur $6^{m},14$ de montée. Sa largeur entre les têtes est de $2^{m},05$. L'aqueduc, dans la traversée du pont, est conforme au type n° 3 ; il est encastré dans la maçonnerie des tympans et surmonté d'un passage de $1^{m},45$ de largeur compris entre deux parapets

de $0^{m},30$ d'épaisseur. Le bandeau de la voûte, qui a $0^{m},90$ d'épaisseur à la clef et $1^{m},20$ aux naissances, est en maçonnerie de ciment; tout le reste de l'ouvrage est en maçonnerie ordinaire; la pierre de taille a été réservée pour le couronnement des parapets et pour le double cordon qui règne au niveau de l'intrados de la voûte et au niveau de la chaussée.

12. *Mode de construction des différents types de l'aqueduc.* — L'aqueduc des eaux de la ville de Saint-Étienne a été exécuté par M. Garnuchot, propriétaire des ciments de Vassy : nous devons faire connaître le mode de construction et le prix de revient de ses différents types et des ouvrages accessoires que nous venons de décrire.

13. *Type n° 1.* — La maçonnerie de la rigole principale, type n° 1 de l'aqueduc, est en mortier de ciment de Vassy, composé de 1 volume de ciment et de 1 volume de sable granitique fin et lavé. Pour l'exécuter, une première brigade d'ouvriers maçonnait, sur le fond de la fouille bien réglée et bien tassée, le radier de $0^{m},09$ d'épaisseur et de $0^{m},54$ de largeur; sur ce radier, dont la surface supérieure était établie suivant la pente du projet déterminé par des repères de hauteur placés d'avance dans le fond de la fouille, une seconde brigade d'ouvriers implantait les deux pieds-droits de l'aqueduc à l'aide de gabarits (voir Pl. 4, *fig.* 25 et 26) formés par deux planches en bois de 3 mètres de longueur, d'une hauteur égale à celle des pieds-droits de l'aqueduc et retenues à l'écartement voulu par des crochets à chaque extrémité et trois tasseaux de calage dans l'intervalle. Lorsque la maçonnerie des pieds-droits qui venait s'appliquer contre la surface extérieure des gabarits était achevée, on faisait tomber les crochets, glisser les tasseaux, et les gabarits détachés étaient reportés en avant pour la construction d'une nouvelle longueur. Une troisième brigade d'ouvriers suivait immédiatement la deuxième pour la construction des solins et

l'application de l'enduit sur le radier et les pieds-droits.

Pendant que ces trois opérations s'exécutaient, un quatrième atelier préparait, à proximité des chantiers, les petites voûtes destinées à recouvrir les aqueducs. Elles étaient moulées dans des châssis en fer (voir Pl. 4, *fig.* 22, 23 et 24) posés de champ sur une table à hauteur d'homme et dans lesquels on introduisait à la partie supérieure le mortier et la pierre cassée dans la proportion de 2 volumes de mortier pour 1 volume de pierres cassées. On avait soin d'ailleurs, avant de jeter le mortier dans le moule, de placer au fond un rang de pierres cassées, on en mettait également un rang sur la surface supérieure lorsque le moulage était presque terminé, de façon que les deux sections de la portion de voûte moulée présentassent des surfaces rugueuses. Au bout de huit à dix minutes, lorsque la prise du ciment était suffisante, on opérait le démoulage en enlevant le crochet qui réunissait les deux parties du châssis et en faisant tourner chacune des faces autour de sa charnière. On emportait ensuite le moule qu'on laisse sécher en dépôt à l'abri du soleil pendant deux ou trois jours. Avant de recommencer une deuxième opération avec le même châssis, on avait soin d'enlever toutes les parcelles de mortier qui pouvaient être adhérentes et de passer sur toute la surface en contact avec le ciment une couche d'huile de lin destinée à faciliter le démoulage.

Lorsque les moules étaient suffisamment secs pour être employés, les maçons les prenaient les uns après les autres et les assujettissaient sur les pieds-droits et contre le moule précédemment posé à l'aide d'une couche de ciment de $0^{m},02$ qu'ils comprimaient en appuyant légèrement sur le moule qu'ils se proposaient de placer. Il ne restait plus ensuite qu'à enlever les bavures à la truelle.

14. *Types n^{os}* 2, 3 *et* 4. — La maçonnerie de l'aqueduc principal, types n°s 2, 3 et 4, est en mortier de ciment de Vassy composé de 1 volume de ciment pour 2 volumes

de sable. Sa construction était effectuée par quatre brigades de maçons. La première brigade construisait le radier, mais sans lui donner la forme concave du projet, la deuxième brigade construisait les pieds-droits jusqu'aux naissances ; elle était guidée dans son travail par des gabarits (voir Pl. 4, *fig.* 18) taillés suivant la section intérieure de l'aqueduc et placés à 1 mètre de distance dans les courbes et à 5 mètres de distance dans les parties droites. Ces gabarits en planches étaient maintenus dans le bas par des tasseaux en ciment, et de chaque côté de la fouille par un étai s'appuyant contre les talus de déblais. La troisième brigade construisait la voûte ; à cet effet, des cintres brisés suivant la génératrice du sommet ayant $1^m,50$ de longueur et formés de couchis de $0^m,02$ cloués sur trois fermes demi-circulaires, étaient placés sur des étais en bois reposant sur le radier. (Voir Pl. 4, *fig.* 17 et 18). Lorsque la maçonnerie de la voûte avait fait prise, on décintrait en faisant glisser les étais par le pied, en enlevant les crochets fixés sous chaque ferme et en faisant tourner les deux parties du cintre autour de la charnière du sommet. La quatrième brigade donnait au radier sa forme concave à l'aide d'un rocaillage dans l'angle des pieds-droits, enlevait les bavures du mortier, remplissait les joints, badigeonnait sa surface au pinceau et construisait l'enduit en ciment de $0^m,03$ sur le radier et les pieds-droits. Pour terminer le travail, il ne restait plus ensuite qu'à recouvrir l'extrados de la voûte d'une chape en mortier de ciment de $0^m,015$ d'épaisseur.

15. *Mode de construction du pont du Pas-du-Riot.* — Le pont du Pas-du-Riot, sur le Furens, a été construit très-rapidement et très-économiquement, grâce à l'emploi de la maçonnerie de ciment pour le bandeau de la voûte. Cette maçonnerie, qui a $0^m,90$ à la clé et $1^m,20$ aux naissances, est en moellons débrutis ayant $0^m,25$ à $0^m,30$ de parement vu et $0^m,35$ à $0^m,40$ de queue. Elle ne se relie par aucun

réduit à la maçonnerie en mortier de chaux du Theil, des tympans et des murs en prolongement des têtes. Le décintrement, qui a été effectué avec beaucoup de précaution en raison de la faible largeur de l'ouvrage, a eu lieu un mois après l'achèvement du bandeau, lorsque la maçonnerie des tympans a été arasée au niveau de l'extrados de la voûte. L'aqueduc a été alors établi, le couronnement du pont a été achevé, et la mise en eau a pu avoir lieu immédiatement. Pendant l'hiver qui a suivi la construction, un léger suintement s'est manifesté sur les tympans du pont, à l'aplomb du joint de rupture. L'aqueduc a été visité, et la fissure très-légère qui s'était manifestée dans le radier a été entaillée en biseau sur $0^{m},05$ de profondeur et $0^{m},10$ de largeur; elle a été remplie de goudron végétal mêlé d'un peu de bitume et recouverte d'un enduit en ciment de $0^{m},03$ d'épaisseur. La fuite n'a plus reparu.

Prix de revient des différents types de l'aqueduc et des ouvrages accessoires. — Le prix du mètre courant du type n° 1 de l'aqueduc principal, non compris les terrassements, s'est élevé à $11^{f},20$, savoir :

	francs.
$0^{m},179$ de maçonnerie de ciment en petits matériaux à 60 francs le mètre cube. . .	10,74
Garnissage à pierres sèches derrière les pieds-droits.	0,46
Total.	11.20

Le prix de 60 francs appliqué à la maçonnerie de ciment avec petits matériaux, y compris les enduits, s'établit d'ailleurs de la manière suivante :

	francs.
$0^{mc},50$ de mortier de ciment à $70^{f},40$.	35,20
Le mortier de ciment se composait de moitié ciment, moitié sable.	

	francs.
700 kilog. de ciment à 9 francs. . . .	63,00
0,80 de sable à 3 francs.	2,40
Façon du mortier.	5,00
Total.	70,40

	francs.
0^{mc},80 de matériaux de petites dimensions à 2^f,50	2,00
Façon, enduits, moulage, pose	15,00
Outils, faux frais, mortier de soudure	2,35
Total	54,55
Bénéfice, 1/10	5,45
Total égal	60,00

Le mètre cube de maçonnerie de l'aqueduc pour les types 2, 3 et 4, y compris les enduits et la chape, a été payé 36^f,21, savoir :

	francs.
0,40 de mortier de ciment composé de 1 volume de ciment pour 2 volumes de sable à 52^f,20 le mètre cube	20,88
1^m,10 de moellons à 2^f,25	2,47
Façon de la maçonnerie	5,00
Enduits et chape en mortier de ciment de 1 volume de ciment pour 1 volume de sable	3,00
Cintres, outils, faux frais	1,57
Total	32,92
Bénéfice, 1/10	3,29
Total égal	36,21

Ce prix du mètre cube fait ressortir le prix du mètre courant de l'aqueduc :

Pour le type n° 2 à 23^f,57, savoir :

	francs.
0^{mc},626 de maçonnerie à 36^f,21	22,67
Garnissage à pierres sèches derrière l'aqueduc, 0^{mc},30 à 3 francs	0.90
Total	23,57

Pour le type n° 3 à 30^f,12, savoir :

	francs.
0^{mc},760 de maçonnerie à 36^f,21	28,92
Garnissage à pierres sèches derrière l'aqueduc, 0^{mc},40 à 3 francs	1,20
Total	30,12

Pour le type n° 4 à $31^f,85$, savoir :

	francs.
$0^{mc},830$ de maçonnerie à $36^f,21$.	30,05
Garnissage à pierres sèches derrière l'aqueduc, $0^{mc},60$ à 3 francs.	1,80
Total.	31,85

Les regards, chaînes et aqueducs de décharge de la rigole et de l'aqueduc principal ont été construits en maçonnerie de ciment composée de 2 volumes de sable pour 1 volume de ciment, et payée au prix de 34 francs le mètre cube.

Le mètre carré d'enduits de $0^m,03$ sur les parements de cette maçonnerie était compté à part au prix de $3^f,32$, savoir :

	francs.
Enduit de $0^m,03$ d'épaisseur, $0^m,033$ de mortier de ciment, 1 de ciment pour 1 de sable à $70^f,40$.	2,32
Façon.	0,55
Outils, faux frais.	0,15
Total.	3,02
Bénéfice, 1/10.	0,30
Total égal.	3,32

Dans les parties où l'on a jugé utile de diminuer ou d'augmenter les épaisseurs des enduits, ce prix a été diminué ou augmenté de $0^f,40$ par chaque demi-centimètre retranché ou ajouté.

La maçonnerie en ciment du pont du Pas-du-Riot a été payée 34 francs le mètre cube comme celle des regards avec une plus-value de $3^f,50$ par mètre carré de parement vu. La maçonnerie ordinaire avec chaux du Theil a été payée 13 francs avec plus-value de $1^f,80$ par mètre carré de parement vu de cette maçonnerie. Le prix total de l'ouvrage s'est élevé dans ces conditions à 21.085 francs, y compris les cintres évalués à 4.000 francs.

16. *Dépense totale de l'aqueduc.* — La dépense totale

de l'aqueduc et de la rigole principale s'est élevée à la somme de 1.080.000 francs, savoir :

1° *Terrassements et ouvrages accessoires.*

	francs.
Déblais dans la terre pour l'aqueduc, 27.400 mètres cubes à 0f,32.	8.768
Déblais dans le rocher pour l'aqueduc, 71.000 à 4f,50.	319.500
Déblais en tunnel à grande section, 646 mètres cubes à 20 francs.	12.920
Déblais en tunnel à petite section, 410 mètres cubes à 24 francs.	9.840
Déblais dans le rocher pour les déviations de chemins et fouilles des murs de soutenement, 2.500 mètres cubes à 3f,40. . . .	8.500
Déblais employés en remblais ou portés en dépôt à une distance réduite de 30 mètres, 60.100 mètres cubes à 0f,30. . . .	18.030
Pilonnage des remblais jusqu'au niveau de l'extrados de la voûte de l'aqueduc, 17.200 mètres à 0f,15.	2.580
Maçonnerie dans les souterrains, 400 mètres cubes à 17 francs.	6.800
Maçonnerie ordinaire pour les murs de soutènement le long de l'aqueduc, têtes des aqueducs, déversoirs, etc., 2.440 mètres cubes à 12 francs.	29.280
Maçonnerie à pierres sèches pour murs de soutènement, 2.900 mètres cubes à 3 francs.	8.700
Rejointoiement de cette maçonnerie, 3.500 mètres carrés à 0f,80.	2.800
Règlement de la plate-forme de l'aqueduc et de la rigole principale, 10.000 mètres carrés à 0f,50.	5.000
Total.	432.718
	francs.
Dépenses en régie pour épuisements, frais de surveillance.	20.282
	453.000

2° *Maçonneries.*

	francs.
Rigole principale (type n° 1), 3.056 mètres à 11f20, le mètre courant, y compris le garnissage à pierres sèches.	34.227,20
Aqueduc principal (type n° 2), 2.205 mètres à 23f,57, y compris le garnissage à pierres sèches.	51.971,85
Aqueduc principal (type n° 3), 4.373 mètres cubes à 30f,12, y compris le garnissage à pierres sèches.	131.714,00
Aqueduc principal (type n° 4), 7.647 à 31f,85.	243.556,00
Maçonnerie en ciment pour chaînes, contre-forts, etc., 1.600 mètres cubes à 34 francs le mètre cube.	54.400,00
Regards et puisards en amont et en aval des chutes, regards hectométriques, y compris maçonneries de pierre de taille, enduits, fermeture, 84 regards à 210 francs en moyenne.	17.640,00
Pont aqueduc sur le Furens au Pas-du-Riot, comme ci-dessus.	21.085,00
Bassin découvert de Corbière et rigole en ciment établissant la communication entre les puisards du tunnel de vidange du barrage et l'aqueduc. .	18.000,00
Tuyaux en fonte placés en amont des chutes pour l'utilisation ultérieure de ces chutes au moyen de turbines, 8.000 kilog. à 0f,45.	3.600,00
Maçonnerie de pierre de taille pour têtes de tunnel et des déversoirs, 24 mètres cubes à 77 francs. . . .	1.848,00
Taille de la pierre de taille, 250 mètres carrés à 7 francs.	1.750,00
Enduits dans les chambres d'entrée des tunnels, des déversoirs, des chambres de visite, 1.100 mètres carrés à 3f,32.	3.652,00
A reporter.	583.444,05

	francs.
Report.	583.444,05
Vannes de décharge et de sûreté dans l'intérieur de l'aqueduc.	4.500,00
Total.	587.944,05
Dépenses en régie pour frais d'épuisements, surveillance.	39.055,95
Total pour les maçonneries. . .	627.000,00
Total pour les maçonneries et les terrassements.	1.080.000,00

La longueur de l'aqueduc étant de 17.386 mètres, le prix de revient par mètre courant ressort à 62 francs, savoir :

	francs.
Terrassements et murs de soutènement.	25
Maçonneries et regards.	37
Total égal.	62

CAPTAGES DES SOURCES.

17. *Région dans laquelle les captages des sources ont été effectués.* — Les sources qui ont été captées pour l'alimentation en eau de la ville de Saint-Étienne, émergent des terrains primitifs qui constituent le bassin hydraulique de la partie haute de la vallée du Furens. Elles se trouvent soit sur les versants, soit au fond du lit de chacun des affluents secondaires du Furens.

Dans l'avant-projet on avait proposé de capter les sources existant sur les deux rives du cours d'eau. Mais lors de l'exécution des travaux, on s'est contenté de recueillir celles de la rive gauche qui étaient les plus importantes et dont les eaux n'étaient pas utilisées pour l'arrosage des prairies.

La région dans laquelle les captages ont été effectués (voir Pl. 4, *fig.* 1) est limitée au sud par le plateau de Pravera qui sépare le bassin du Rhône du bassin de la Loire, et à l'ouest par le plateau de la République, qui sépare le bassin du Furens de celui de la Semène et du

Furet; elle offre une superficie de 1.200 hectares, répartie sur le territoire des communes du Bessat, de Tarentaise, de Saint-Genest-Malifaux et de Planfoy. Toute cette région est boisée en forêts de sapins d'une belle venue, et traversée par vingt-deux ruisseaux principaux, savoir :

La Travary, les sources du Furens, la Fond-du-Rat, les Oisaux, le pré Dorel, le bois Penel, les Creuses, le Grivet, le pré Biacon, la Marguerite, les Gouttes, le Clos, le Four, le Cheval, la Digonnière, le Beauregard, les Tours, la République, le Lauçot, la Réale, le Condurant et la Marianne.

18. *Procédés employés pour le captage des eaux.* — Les procédés qui ont été suivis pour recueillir toutes les eaux dont ces ruisseaux étaient tributaires et les conduire dans l'aqueduc d'alimentation de la ville de Saint-Étienne sont analogues à ceux qui ont été employés à Avallon par M. l'inspecteur général Belgrand ; ils ont donné d'excellents résultats.

Le principe qui a présidé aux travaux a été le suivant :

Dans chaque affluent capter les sources autant que possible à leur point d'émergence, les introduire dans des conduites fermées d'où elles ne puissent plus s'échapper, les diriger ainsi suivant la déclivité du terrain dans des collecteurs établis au bas de la vallée, et de là dans l'aqueduc principal.

Les travaux de captage se divisent donc naturellement en trois catégories :

1° Les captages des sources proprement dites;

2° L'établissement des conduites tertiaires et secondaires;

3° L'établissement des conduites principales ou collecteurs.

19. *Captage des sources à l'émergence.* — Lorsqu'une source se manifestait à la surface, on ouvrait une tranchée en suivant les suintements jusqu'au point d'émergence.

Ce point d'émergence bien constaté, on nettoyait la fouille descendue généralement jusque sur le rocher, et on la fermait à 2 mètres en arrière par un barrage en maçonnerie de ciment de $0^m,15$ d'épaisseur et de $0^m,40$ de hauteur dans lequel on encastrait le drain en poterie ou la conduite en béton de ciment destinée à amener l'eau recueillie au collecteur. Le fond de la fouille et les parois sur $0^m,70$ à 1 mètre de longueur étaient revêtus d'une maçonnerie de ciment de $0^m,10$ d'épaisseur de façon à former une cuvette étanche en amont du barrage. Le tuyau encastré dans la maçonnerie était d'ailleurs prolongé en amont par un drain en poterie à manchons et à joints ouverts, qu'on recouvrait d'un aqueduc à pierres sèches pour faciliter l'introduction de l'eau. Puis on plaçait immédiatement en amont du barrage sur l'extrémité du tuyau encastré une cheminée verticale fermée à sa partie supérieure par un bouchon en ciment et percée latéralement de trois ouvertures qui permettaient à l'eau qui aurait échappé au drain de pénétrer dans la conduite. La fouille était remplie sur $0^m,50$ à $0^m,60$ de hauteur avec des pierres posées à la main, qu'on recouvrait d'un corroi argileux de $0^m,08$ à $0^m,10$ d'épaisseur, arrosé de lait de chaux en vue d'arrêter les infiltrations directes de la surface. Le remblai s'achevait ensuite à la manière ordinaire.

20. *Captage des eaux de suintement dans les tranchées.* — Les eaux ainsi captées à l'émergence sont amenées par les embranchements tertiaires dans les conduites secondaires dont le tracé a été étudié de façon à rendre ces embranchements aussi courts que possible et à recueillir les eaux de suintemeut rencontrées dans les fouilles sur leur passage. A cet effet à l'aval des points où l'on traversait des terrains aquifères, on établissait dans la tranchée un barrage analogue à celui que nous avons décrit pour le captage des sources à l'émergence. Ce barrage en maçonnerie de ciment (voir Pl. 4, *fig.* 40, 41 et 42) a $0^m,15$

d'épaisseur et $0^m,33$ de hauteur; un revêtement en ciment de $0^m,10$ d'épaisseur recouvre le fond de la fouille et les parois sur toute la longueur du remous qu'il produit, et une cheminée placée verticalement sur la conduite en amont du barrage et percée de trois trous permet à l'eau de s'y introduire. Sur tout son parcours la conduite est d'ailleurs recouverte d'un empierrement de $0^m,20$ d'épaisseur, qui forme drainage et facilite l'écoulement de l'eau jusqu'au barrage transversal qui l'oblige à pénétrer dans le réseau souterrain des captages.

21. *Conduites principales et secondaires.*—Les conduites principales ou collecteurs destinés à recevoir dans chaque petite vallée le produit des conduites secondaires et tertiaires d'un même ruisseau et à amener les eaux recueillies dans l'aqueduc d'alimentation de la ville, sont établis dans le bas de la vallée à un niveau supérieur à celui qu'atteignent les crues. Leur pente, qui est à peu près celle des ruisseaux que leur tracé côtoie, varie de $0^m,10$ à $0^m,03$ par mètre. Des barrages transversaux avec cheminée verticale, construits dans les mêmes conditions que ceux déjà décrits, ont été exécutés partout où des suintements de quelque importance étaient constatés dans les fouilles.

Les conduites principales et les conduites secondaires ont été posées à une profondeur de $1^m,20$ à $1^m,40$ en contre-bas du sol. Elles ont été recouvertes d'une couche d'empierrement de $0^m,20$ à $0^m,25$ d'épaisseur garantie contre les filtrations des eaux de surface par un corroi argileux de $0^m,08$ à $0^m,10$ d'épaisseur. Le remblai une fois achevé, on a eu soin de gazonner la surface et d'établir des caniveaux maçonnés ou à pierres sèches partout où cette précaution a été jugée nécessaire pour empêcher les eaux de pluie de pénétrer dans les empierrements.

22. *Regards.* — De nombreux regards ont été construits sur le réseau des conduites de captage. Ils sont placés à l'aval des sources importantes et sur la jonction de deux

ou plusieurs conduites secondaires ou tertiaires. Ces regards, en maçonnerie de ciment de $0^{m},20$ d'épaisseur, sont rectangulaires (voir Pl. 4, *fig.* 34 et 35) et ont $0^{m},60$ de largeur. La conduite d'arrivée débouche à $0^{m},40$ en contre-haut du fond, la conduite de départ à $0^{m},30$. Un déversoir latéral, rendant l'eau dans le ruisseau, est établi à $0^{m},50$ au-dessus de fond; de sorte que la pression maxima sur la conduite de départ à l'origine n'excède pas $0^{m},20$. Des cheminées pour prise d'eau sont placées sur la conduite d'arrivée contre la face amont des regards qui sont fermés par des tampons en pierre de taille.

Des regards circulaires de $0^{m},50$ de diamètre intérieur, recouverts d'une couche de remblais de $0^{m},60$ à $0^{m},80$ (voir Pl. 4, *fig.* 36 et 37), ont été établis sur les conduites d'une importance moindre à la jonction de plusieurs conduites. Ils sont en maçonnerie de ciment de $0^{m},15$ d'épaisseur et munis comme les regards rectangulaires d'une cheminée de prise d'eau placée contre leur face extérieure. Leur position ainsi que celle de tous les barrages pour prise d'eau est indiquée sur le terrain par des bornes numérotées.

Les regards, contre-forts et barrages, ont été exécutés en maçonnerie de mortier de ciment composé de 1 volume de sable pour 1 volume de ciment, dont le prix de revient s'est élevé à 47 francs, savoir :

		francs.
$1^{mc},10$ de moellons à 3 francs.		3,30
$0^{mc},40$ de mortier à $78^{f},50$.		31,40
700 kilog. de ciment à 10 francs. . .	$70^{f},00$	
$0^{mc},80$ de sable à 5 francs.	4 ,00	
Façon du mortier.	4 ,50	
	78 ,50	
Façon de la maçonnerie.		6,17
Total.		40,87
Outils, faux frais, bénéfice.		6,13
Total.		47,00

L'enduit intérieur de $0^{m},03$ était payé $3^{f},70$, savoir :

	francs.
$0^{mc},033$ de mortier de ciment à $78^{f},50$.	2,59
Façon.	0,72
Total.	3.21
Outils, faux frais et bénéfice.	0,49
Total.	3,70

23. *Mode de construction du réseau des conduites de captage.* — L'ensemble du réseau des conduites de captage offre un développement de 53 kilomètres et s'étend sur une surface de 220 hectares acquise par la ville de Saint-Étienne.

Des conduites de différentes natures et de plusieurs dimensions ont été employées dans sa construction.

Conduites en poterie. — Pour les petits débits, on s'est contenté de tuyaux de drainage de $0^{m},05$ à $0^{m},06$ de diamètre dont les joints ont été fermés à l'aide de manchons lutés avec du ciment (voir Pl. 4, *fig.* 38 et 39). Le collage des manchons aux tuyaux se faisait d'avance par trois ou quatre tuyaux; au moment de la pose on n'avait plus qu'à réunir par un lutage de joint les portions de conduites de 1 mètre à $1^{m},20$ de longueur ainsi préparées à l'avance. Les conduites une fois posées dans la tranchée et bien calées sous les joints étaient recouvertes par un aqueduc à pierres sèches formé de trois pierres en contact avec les parois du tuyau.

Le prix de revient du mètre courant de ces conduites en poterie s'est élevé à 1 franc, savoir :

	francs.
Fourniture, 1 mètre courant de tuyaux de drainage de $0^{m},06$, y compris les manchons.	0,311
Ciment pour le lutage des joints et la pose, $1^{k},25$ à $0^{f},10$ le kilog., rendu à pied d'œuvre.	0,125
Façon du lutage et de la pose.	0,470
Total.	0,906
Outils, faux frais, bénéfice, 1/10.	0,091
Total.	0,997

Conduites en béton de ciment. — Les tuyaux de drainage à joints lutés n'ont été employés que pour les rigoles tertiaires. Toutes les rigoles secondaires et principales ont été construites avec des moulages en béton de ciment (voir Pl. 4, *fig.* 7, 8 et 9). Quatre types présentant 0,m08, 0m,10, 0m,12 et 0m,15 de largeur ont été appliqués.

Les conduites de 0m,08, 0m,10 et 0m,12 ont une section rectangulaire et sont formées de deux moulages en béton de ciment superposés et collés à l'aide d'une légère couche de ciment. Ces moulages (voir Pl. 4, *fig.* 10, 11, 12 et 13), qui ont 0m,50 de longueur, sont préparés dans des châssis en fer analogues à ceux qui ont été décrits pour la confection de la couverture du type n° 1 de l'aqueduc principal. Les châssis posés de champ sur des tables à hauteur d'homme sont remplis de mortier de ciment dans lequel on introduit des pierres cassées bien lavées. Lorsque la prise est faite, on opère le démoulage en faisant tourner les parois des châssis autour des charnières verticales qui en réunissent les différentes parties. Les moulages sont ensuite portés dans des lieux de dépôt où s'achève leur séchage.

La conduite de 0m,15 se compose, comme les conduites de 0m,08, 0m,10 et 0m,12, de deux parties moulées séparément; mais en vue d'augmenter sa solidité, la couverture est cintrée au lieu d'être rectangulaire.

La pose de ces conduites s'effectue très-vite et avec beaucoup de facilité. Sur le fond de la fouille bien dressée et bien damée, une première brigade d'ouvriers pose les moulages du radier en laissant entre eux un intervalle de 0m,01 pour le joint en mortier de ciment, qu'on fait ensuite avec beaucoup de soin. Une deuxième brigade place les couvertures en ayant la précaution de découper les joints et d'assurer la liaison de chaque moulage avec celui qui précède et avec le moulage du radier à l'aide d'une couche suffisante de mortier de ciment. Il ne reste plus ensuite qu'à enlever les bavures pour achever la conduite.

Le prix de revient d'un mètre linéaire de ces conduites s'établit ainsi qu'il suit :

Conduite de $0^m,15$.

		francs.
Ciment employé pour 1 mètre linéaire, 22 kilog. à $0^f,10$.		2,20
Sable, $0^{mc},021$ à 8 francs.		0,17
Pierres cassées, $0^{mc},021$ à 6 francs.		0,13
Main-d'œuvre pour la fabrication des moules.		0,38
$0^h,55$ de maçon à $0^f,40$. . . $0^f,22$	0,38	
$0^h,55$ de gâcheur à $0^f,30$. . . $0^f,16$		
Transport des moules du point de la fabrication au lieu d'emploi.		0,15
Pose des moules.		0,35
$0^h,50$ de maçon à $0^f,40$. . . $0^f,20$	0,35	
$0^h,50$ de gâcheur à $0^f,30$. . . $0^f,15$		
Outils, graissage des moules, faux frais, bénéfice, 1/10.		0,42
Total.		3,80

La conduite de $0^m,15$ cubant $0^{mc},04132$ au mètre courant le prix du mètre cube de béton de ciment ressort à $\frac{3^f,80}{0,04132}$, soit 92 francs en nombre rond.

Conduite de $0^m,12$.

		francs.
Ciment employé pour 1 mètre linéaire, 18 kil. à $0^f,10$.		1,80
Sable, $0^m,018$ à 8 francs.		0,15
Pierres cassées, $0^m,018$ à 6 francs.		0,11
Main-d'œuvre pour la fabrication des moules.		0,31
$0^h,45$ de maçon à $0^f,40$. . . $0^f,18$	0,31	
$0^h,45$ de gâcheur à $0^f,30$. . . $0^f,13$		
Transport des moules du point de fabrication au lieu d'emploi.		0,12
Pose des moules.		0,28
$0^h,40$ de maçon à $0^f,40$. . . $0^f,16$	0.28	
$0^h,40$ de gâcheur à $0^f,30$. . . $0^f,12$		
Outils, graissage, faux frais et bénéfice, 10 p. 100.		0,33
Total.		3,10

La conduite de $0^m,12$ cubant $0^{mc},0325$ au mètre courant, le prix du mètre cube de béton de ciment ressort à $\frac{3^f,10}{0,0325}$, soit 94 francs en nombre rond.

Conduite de $0^m,10$.

		francs.
Ciment employé pour 1 mètre linéaire, 13 kil. à $0^f,10$.		1,30
Sable, $0^{mc},013$ à 8 francs.		0,10
Pierres cassées, $0^{mc},013$ à 6 francs.		0,08
Main-d'œuvre pour la fabrication des moules.		0,23
$0^h,33$ de maçon à $0^f,40$. . . $0^f,132$	0,231	
$0^h,33$ de gâcheur à $0^f,30$. . . $0^f,099$		
Transport des moules du point de fabrication au lieu d'emploi.		0,10
Pose des moules.		0,21
$0^h,40$ de maçon à $0^f,40$. . . $0^f,120$	0,21	
$0^h,30$ de gâcheur à $0^f,30$. . . $0^f,09$		
Outils, graissage, faux frais et bénéfice.		0,23
Total.		2,25

La conduite de $0^m,10$ cubant $0^{mc},0127$, le prix du mètre cube de béton de ciment ressort à $\frac{2^f.22}{0,0217} = 102^f,30$.

Conduite de $0^m,08$.

		francs
Ciment employé pour 1 mètre linéaire, 10 kil. à $0^f,10$.		1,00
Sable, $0^m,008$ à 8 francs.		0,06
Pierres cassées, $0^m,008$ à 6 francs.		0,05
Main-d'œuvre pour la fabrication des moules.		0,21
$0^h,30$ de maçon à $0^f,40$. . . . $0^f,12$	0,21	
$0^h,30$ de gâcheur à $0^f,09$. . . . $0^f,09$		
Transport des moules du point de fabrication au lieu d'emploi.		0,08
Pose des moules.		0,17
$0^h,25$ de maçon à $0^f,40$. . . $0^f,10$	0,175	
$0^h,25$ de gâcheur à $0^f,30$. . . $0^f,075$		
Outils, graissage des moules, faux frais et bénéfice.		0,18
Total.		1,75

La conduite de $0^{m},08$ cubant $0^{mc},0154$ au mètre courant, le prix du mètre cube de béton de ciment ressort à $\frac{1^{f}.75}{0,0154}$, soit à 112 francs en nombre rond.

24. *Dépense totale des travaux de captage.* — La dépense totale des travaux de captage s'est élevée, non compris les indemnités de terrains, à la somme de 350.000 francs, savoir :

1° *Terrassements.*

	francs.
Déblais dans la terre, 60.000 mètres cubes à $0^{f},27$.	16.200
Déblais dans le rocher, 27.000 mètres cubes à $3^{f},84$.	103.680
Remblais à un jet de pelle, 58.000 mètres cubes à $0^{f},26$.	15.080
Enrochements sur les rigoles avec matériaux provenant des fouilles sur $0^{m},20$ de hauteur, à $0^{f},20$ le mètre courant, 50.200 mètres linéaires.	10.040
Enrochements sur les rigoles avec matériaux ramassés en dehors des fouilles, 3.500 mètres cubes à $0^{f},40$.	1.400
Enrochements aux points d'émergence des sources, 2.500 mètres cubes à 2 francs le mètre cube.	5.000
Corrois en argile arrosée de lait de chaux du Theil, de $0^{m},10$ à $0^{m},20$ d'épaisseur, 53.000 mètres à $0^{f},20$ le mètre courant.	10.600
Corrois en argile sur les émergences des sources, 5.000 mètres à $0^{f}.25$ le mètre carré.	1.250
Arrachage des arbres à 1 mètre de l'axe des rigoles, 52.000 mètres à $0^{f},30$ le mètre courant.	15.600
Gazonnement de parties des rigoles exposées à l'action des courants superficiels, 25.000 mètres carrés à $0^{f},20$ le mètre courant.	5.000
A reporter.	183.850

	francs.
Report.	183.850
Délimitation des emprises de la ville et bornage, 45.000 mètres à 0f,10 le mètre courant.	4.500
	188.350
Travaux accessoires, maison de garde des Creuses, frais de surveillance.	14.650
Total.	203.000

2° *Maçonneries.*

	francs.
Rigoles en béton de ciment de 0m,15 d'ouverture, 1.370 mètres à 3f,80 le mètre courant.	5.206
Rigoles en béton de ciment de 0f,12 d'ouverture, 2.100 à 3f,10 le mètre courant.	6.510
Rigoles en béton de ciment de 0m,10 d'ouverture, 5.900 mètres à 2f25 le mètre courant.	13.275
Rigoles en béton de ciment de 0m,08 d'ouverture, 11.900 à 1f,75 le mètre courant.	20.825
Rigoles en tuyaux de drainage avec manchons à joints lutés avec du ciment, 32.500 mètres cubes à 1 franc le mètre courant.	32.500
Maçonnerie de ciment pour regards, contreforts et barrages, 350 mètres cubes à 47 francs le mètre cube.	16.450
Enduits de 0m,03 sur les parements de cette maçonnerie, 2.400 mètres carrés à 3f,70.	8.880
Maçonnerie de pierre de taille pour la couverture des regards, 33 mètres cubes à 77 francs.	2.541
Parement vu de la pierre de taille, 327 mètres carrés à 7 francs.	2.289
Trappes en tôle pour les regards de jonction et clapets pour lesdits regards. . . .	2.800
Maçonnerie de chaux hydraulique du Theil	
A reporter.	111.276

	francs.
Report.	111.276
pour détournement de ruisseau, 660 mètres cubes à 14 francs.	9.240
Total pour la maçonnerie.	120.516
Travaux accessoires et frais de surveillance.	26.494
Total des maçonneries.	147.010
Total des terrassements.	203.000
Total général.	350.010

25. *Débit des sources et consommation de la ville de Saint-Étienne.* — Le débit des sources dont les captages ont été exécutés conformément aux indications générales que nous venons de donner varie entre 60 et 450 litres par seconde. La courbe de ce débit, pendant l'année 1868, est désignée (Pl. 5, *fig.* 16) par les lettres *abcd*. Les temps sont pris pour abscisses et les volumes débités par vingt-quatre heures pour ordonnées. On remarquera, en jetant les yeux sur cette courbe, que le minimum s'est produit au mois de janvier (à cause d'une forte gelée) et au mois d'août (à la fin des grandes chaleurs); le maximum a été atteint au mois de mai après la fonte des neiges, et au mois d'octobre, à la suite des pluies d'automne.

La consommation moyenne des eaux dans Saint-Étienne étant actuellement de 150 litres par seconde, soit 13.000$^{m.c.}$ par vingt-quatre heures, cette consommation n'aurait pas été pleinement satisfaite pendant un certain nombre de jours si la ville n'avait eu à sa disposition que les sources. Le déficit a été comblé par des emprunts faits au réservoir du Furens à l'aide de l'aqueduc qui permet de mettre en communication le tunnel de vidange du réservoir avec l'aqueduc d'alimentation de la ville. Le volume ainsi emprunté est celui qui correspond à la surface comprise entre la ligne droite AB dont l'ordonnée est 13.000 mètres cubes et la courbe du débit des sources. Il a atteint en 1868 588.000 mètres cubes, soit environ la moitié de la capacité du réservoir jusqu'au niveau de la retenue permanente.

DISTRIBUTION D'EAU DE SAINT ÉTIENNE

A Fig. 1. Plan des conduites principales de distribution d'eau dans la ville de St Étienne

Echelle A de $0^m,0005$ pour 1^{km}

Echelle B de $0^m,0005$ pour 1^m

Echelle C de $0^m,01$ pour 1^m

Echelle D de $0^m,05$ pour 1^m

Echelle E de $0^m,001$ pour 1^m

Echelle F de $0^m,002$ pour 1^m

Bassin du Jardin des Plantes

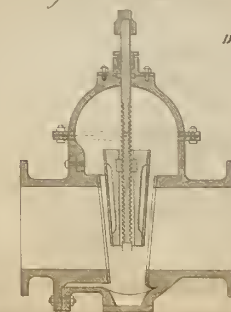
B Fig. 2. Coupe suivant ABC

B Fig. 3. Plan

C Fig. 4. Coupe verticale d'une cuve

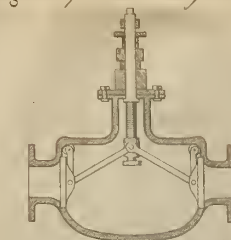
C Fig. 5. [illegible]

D Fig. 6. Coupe d'un robinet Système Herdevin



D Fig. 7. Coupe d'un clapet de décharge

D Fig. 8. Coupe d'un robinet Système Bonin



D Fig. 9. Coupe d'une ventouse

Barrage du Gouffre d'Enfer

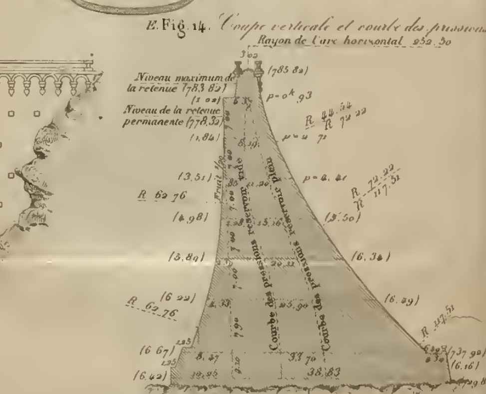
F Fig. 10. Coupe transversale de la partie supérieure du barrage

F Fig. 11. Élévation d'aval

E Fig. 12. Élévation d'aval

E Fig. 14. Coupe verticale et courbe des pressions

Rayon de l'arc horizontal 252.50



E Fig. 13. Plan



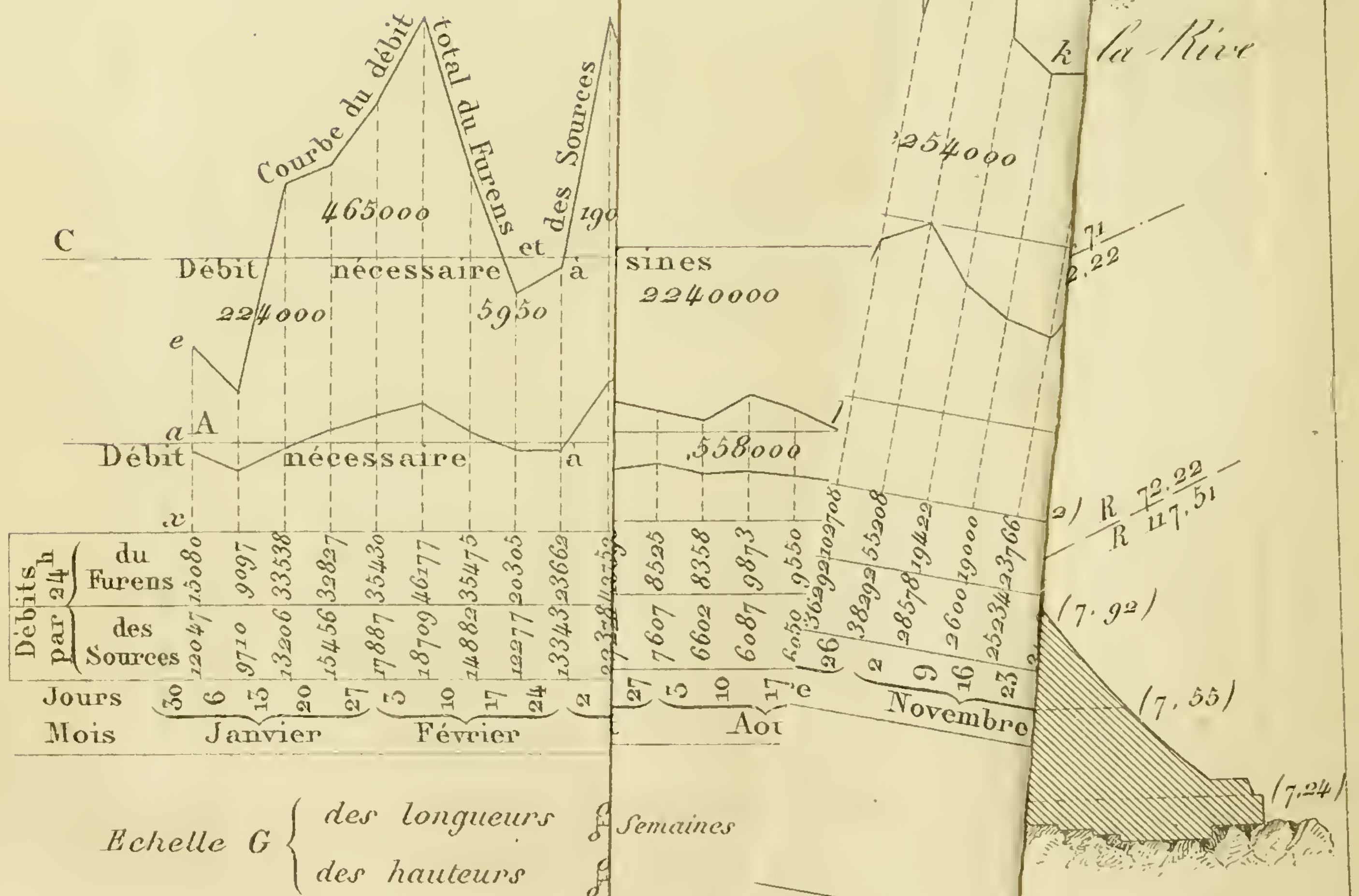
E Fig. 15. Coupe transversale du barrage de la Rive

Rayon de l'arc horizontal

G Fig. 16. Courbes des débits du Furens et des Sources année 1868

Echelle G { des longueurs $0^m,003$ pour une semaine ; des hauteurs $0^m,0005$ pour 1000^{mc}

Gravé par E. Perot



Gravé par E. Pérot

L'emprunt maximum par jour a eu lieu du 24 août au 21 septembre et a été de 8.000 mètres cubes par 24 heures, soit 90 litres par seconde. La qualité de l'eau distribuée n'a été en aucune façon altérée.

Les analyses chimiques que MM. Lan et Vicaire, ingénieurs des mines, professeurs à l'École des mineurs de Saint-Étienne, ont bien voulu faire des eaux de sources et du réservoir, indiquent en effet que les unes et les autres sont d'une pureté exceptionnelle.

L'analyse des eaux de sources par M. Lan a accusé pour 1 litre d'eau un résidu fixe de 0g,105, composé ainsi qu'il suit :

	grammes.
Acide sulfurique	0,01354
Acide chlorhydrique	0,00500
Acide silicique et résidu insoluble dans l'eau	0,14900
Chaux	0,01250
Magnésie	traces
Alcalis	0,02406
Matières organiques	traces
Total	0g,10500

L'analyse des eaux du réservoir, faite en 1866 par M. Vicaire, alors que la décomposition des plantes qui recouvraient les flancs de la vallée inondée n'était pas encore complète, a accusé pour 1 litre d'eau 0g,0057 de matières organiques.

Cette analyse montre que l'eau du réservoir ne renferme que le 1/10 de la quantité de matières organiques que contiennent la plupart des eaux potables. Ainsi l'eau de Seine en amont de Paris, au pont d'Ivry, renferme, d'après M. Poggiale, 0g,03 à 0g,05 de matière organique par litre, résultat confirmé par M. Boudet, qui y a trouvé 0g,04 et 0g,06 dans les eaux de la Marne.

La qualité des eaux de sources comme celle des eaux du réservoir ne laisse donc rien à désirer.

Leur température est également exceptionnelle. Les sources, à leur point d'émergence, n'ont en été que 6°. Dans le parcours jusqu'au bassin du Rey, leur température s'élève de 2°, une élévation analogue a lieu dans le réseau des conduites de distribution, de sorte que l'eau est en définitive distribuée aux bornes-fontaines à une température de 10 à 11°.

La température de l'eau du réservoir, qui est à la surface de 17°, n'est au niveau des conduites de vidange que de 8°. Lorsqu'elle est versée dans l'aqueduc des fontaines, elle n'élève pas sensiblement la température des sources et permet encore de distribuer l'eau dans la ville à 11 ou 12°. En été, c'est une eau extrêmement fraîche et qui se trouve dans les conditions les meilleures pour tous les usages domestiques.

DISTRIBUTION DES EAUX DANS L'INTÉRIEUR DE LA VILLE DE SAINT-ÉTIENNE.

26. *Division de la ville de Saint-Étienne en région haute et région basse.* — La ville de Saint-Étienne, construite dans la vallée du Furens depuis Valbenoîte jusqu'à la Terrasse et sur les coteaux qui dominent cette vallée à l'est et à l'ouest (voir le plan général, Pl. 5, *fig.* 1), présente entre ses différents quartiers des différences de niveau considérables. Ainsi la place Royale, située au centre de la ville, n'est qu'à la cote 517 mètres au-dessus du niveau de la mer, tandis que les quartiers de Sainte-Barbe, Beaubrun et Gaillard à l'ouest, de la Mulatière, du jardin des Plantes et du Cimetière à l'est atteignent l'altitude de 595 mètres. Cette disposition des lieux nous a conduit à diviser la ville en deux régions comprenant, la première, les points qui sont situés au-dessus de la courbe de niveau indiquée en pointillé sur le plan et tracée à 540 mètres au-dessus du niveau de la mer, la deuxième, tous les points situés au-dessous de cette

même courbe de niveau, et à prévoir dans chacune de ces régions un réseau spécial de distribution.

27. *Réseau des conduites destinées à desservir la haute pression.* — L'eau des fontaines de la ville de Saint-Étienne est, ainsi que nous l'avons expliqué, amenée à l'air libre par un aqueduc couvert jusqu'au bassin du Rey (point A du plan) construit à la cote 618m,75 sur le coteau qui domine la rive droite du Furens à son entrée dans la plaine de Champagne. Ce bassin, qui a une capacité de 7.000 mètres cubes, commande tout le réseau des conduites en haute pression.

La conduite principale A*b* de 0m,50 de diamètre qui part du bassin à la cote 619 est établie sous le chemin de grande communication n° 19 de Saint-Étienne à Serrières; au point *b*, elle se bifurque en deux conduites destinées, l'une à l'alimentation des quartiers Est, l'autre à l'alimentation des quartiers Ouest.

La conduite des quartiers Est *b m n o p q* suit dans toute sa longueur la rue du Boulevard-Valbenoîte, traverse le boulevard Fauriel et s'élève sur le coteau du jardin des Plantes à la cote 591. Là elle alimente un réservoir de 1.100 mètres cubes de capacité, dont le radier est à cette même cote de 591, et elle redescend sur la place Fourneyron pour s'élever de nouveau jusqu'au point culminant du quartier du Grand-Cimetière à la cote 570. Cette conduite, qui a un diamètre uniforme de 0m,216, dessert par des embranchements les quartiers du jardin des Plantes, du Grand-Cimetière, de Monthieu et la commune de Saint-Jean-Bonnefond. On rencontre sur son parcours trois points bas, savoir : à son origine, place Valbenoîte, point *b* du plan où la cote du terrain est 553m,40 et la pression de l'eau est de 62 mètres; au boulevard Fauriel, point *m* du plan où la cote du terrain est 550m,32 et la pression de l'eau est de 59 mètres; enfin sur la place Fourneyron, point *o* du plan où la cote du terrain est 531m,21 et la pression de l'eau est de 59 mètres.

La conduite des quartiers Ouest *b c d e f g* part comme

la conduite Est de l'extrémité de la conduite de $0^m,50$ sur la place de Valbenoîte; elle suit la rue des Passementiers, la rue Coraly-Royet, la rue des Teinturiers, traverse la route nationale en aval du bâtiment des Prisons et se dirige par le chemin de Bizillon sur les quartiers de Tardy et de Beaubrun après avoir alimenté par un embranchement de $0^m,250$ le bassin de Sainte-Barbe de 1.100 mètres cubes de capacité construit sur le sommet de la montagne de ce nom à la cote 591. Le diamètre de la conduite est de $0^m,30$ depuis son origine jusqu'à Tardy, et de $0^m,216$ de Tardy à la rue du Puy, point *g* du plan où elle se bifurque en deux conduites : l'une *gh*, de $0^m,135$, destinée à alimenter les parties les plus élevées de Beaubrun, et l'autre *gkl*, de $0^m,108$, destinée à alimenter les quartiers du Clapier, de Gaillard et de Champrond, en suivant les rues de Tarentaise et de la Pareille. La conduite ouest, qui alimente par des embranchements spéciaux toute la partie sud de la plaine de Champagne et les divers quartiers qu'elle traverse, siphonne à son passage sous la route Nationale ou la cote du terrain n'est que de 544.82, et la pression de l'eau atteint 71 mètres.

Indépendamment de ces deux conduites principales en haute pression qui assurent l'alimentation de tous les quartiers hauts de la ville, on a établi une conduite supplémentaire A*rm* de $0^m,25$ de diamètre, qui s'embranche sur la conduite de $0^m,50$ de diamètre à 100 mètres en aval du bassin du Rey, descend par le chemin de Rochetaillée sur le boulevard Fauriel, qu'elle suit dans toute sa longueur pour venir se jonctionner avec la conduite Est, au bas du jardin des Plantes.

Grâce à cette conduite et aux deux réservoirs de Sainte-Barbe et du jardin des Plantes, le service des eaux n'est jamais interrompu dans le réseau en haute pression; car si la conduite de $0^m,50$ est en réparation, la conduite de $0^m,25$ la remplace dans une certaine mesure, et le jeu des

robinets permet de diriger le volume d'eau qu'elle débite, soit dans les quartiers Ouest par la conduite de Valbenoîte, Tardy, Beaubrun, soit dans les quartiers Est par la conduite du jardin des Plantes et du grand cimetière. A ce moment-là d'ailleurs, si son débit est insuffisant pour alimenter tous les services, les deux réservoirs de Sainte-Barbe et du jardin des Plantes fournissent le complément nécessaire.

28. *Réseau des conduites destinées à desservir la basse pression.* — Les dispositions que nous venons d'indiquer préservent le service de la région haute de la ville de tout danger d'interruption ; nous allons montrer maintenant que les mêmes résultats sont obtenus dans le réseau en basse pression.

La région basse est celle qui est inférieure à la courbe de niveau 540. Elle comprend toute la partie centrale de la ville, depuis la caserne jusqu'à son extrémité nord, et en outre les quartiers de la Montat et du Soleil.

L'alimentation de cette portion de la ville était faite autrefois dans des conditions du reste assez précaires par un réseau de conduites qui partait d'un bassin D situé dans la plaine de Champagne, et qui était alimenté par une prise d'eau d'environ 43 litres par seconde, effectuée directement dans le Furens au point x du plan. La cote du radier du bassin se trouve à 550,61, soit à $10^{m},61$ au-dessus des points les plus élevés de la région basse. Ce réservoir a été conservé dans la nouvelle distribution, et c'est lui qui est appelé aujourd'hui à régler la pression dans le réseau de basse pression, de même que le bassin du Rey est appelé à régler la pression dans le réseau de haute pression ; les dispositions adoptées à cet effet sont les suivantes.

Une conduite de $0^{m},30$ de diamètre CZ, munie à son extrémité d'un robinet, met en communication la conduite ouest en haute pression avec le bassin de Champagne qui se trouve ainsi alimenté directement par les eaux de sour-

ces. Du bassin part une conduite maîtresse de distribution *a'b'c'* de 0m,30 de diamètre qui rejoint la route Nationale n° 82 au point *b'* et la suit dans toute sa longueur jusqu'à l'extrémité nord de la ville.

Toutes les rues de Saint-Étienne venant couper normalement la route nationale, les embranchements destinés à l'alimentation de ces rues se soudent facilement sur la conduite principale.

Mais cette conduite serait insuffisante pour assurer le service de toute la région basse de la ville si l'eau qu'elle débite lui venait en totalité du bassin de Champagne. Pour parer à cette éventualité, on a établi, à l'aide de quatre cuves des communications entre les conduites en haute et basse pression qui permettent de prendre en quatre points différents sur le réseau en haute pression le volume supplémentaire nécessaire au réseau en basse pression.

29. *Cuves de distribution mettant en communication les réseaux de haute et basse pression.* — Les cuves qui établissent ces communications sont en maçonnerie et ont leur radier à la cote 556, soit à 5m,39 au-dessus du radier du bassin de Champagne. Elles se composent de deux compartiments (voir Pl. 5, *fig.* 4 et 5) : dans le premier se trouvent les robinets de manœuvre établis sur la conduite en haute pression ; dans l'autre débouchent deux tuyaux : l'un, mis en communication avec le réseau en haute pression, fournit à la cuve l'eau qui est nécessaire ; l'autre, mis en communication avec le réseau de basse pression, fournit à ce réseau l'eau qu'a reçue la cuve.

La conduite principale Est en haute pression alimente deux cuves E et F situées, savoir : la cuve E au jardin des Plantes, la cuve F au cimetière Saint-Claude. La conduite principale Ouest en haute pression alimente également deux cuves G et H situées : la cuve G à Tardy, la cuve H à Beaubrun. De ces cuves partent des conduites de 0m,216 de diamètre qui viennent se jonctionner avec la conduite

maîtresse posée sous la route nationale, et alimentent sur leur passage, par des embranchements tertiaires, les quartiers qu'elles traversent.

Il résulte de ces dispositions, que la pression reste à peu près uniforme dans tout le réseau inférieur sans qu'il ait fallu employer des conduites d'un diamètre exceptionnel au départ du bassin de Champagne ; si la pression tend à s'abaisser sur un point quelconque par suite d'une consommation d'eau exceptionnelle, on augmente le débit de la cuve correspondante et l'équilibre se rétablit. On peut d'ailleurs donner impunément, pendant quelque temps, à une ou plusieurs cuves une alimentation supérieure à la consommation ; car leur radier étant à $5^{m},39$ au-dessus de celui du bassin de Champagne, elles ne déversent jamais avant le bassin, et l'excédant de débit vient s'y emmagasiner. Le bassin de Champagne fonctionne donc non-seulement comme bassin d'alimentation, mais encore comme bassin régulateur.

Un autre avantage des cuves, c'est que les accidents sur les conduites, quelque graves qu'ils puissent être, n'interrompent jamais l'alimentation de la ville, car si la communication est coupée avec le bassin du Rey, les deux cuves Est sont alimentées par le bassin du jardin des Plantes et les deux cuves Ouest sont alimentées par le bassin de Sainte-Barbe. Le réseau en basse pression a donc toujours à sa disposition ces deux réserves, sans compter celle du bassin de Champagne.

Enfin, si par une cause quelconque les abonnements aux eaux prennent tout à coup sur un point déterminé de la ville une importance non prévue dans le début, on peut facilement pourvoir à ces besoins nouveaux sans changer le diamètre des conduites existantes par la construction d'une cuve nouvelle ou la pose d'une nouvelle conduite partant d'une des anciennes cuves. Cette nécessité s'est déjà présentée. Par suite de la construction de la manufac-

ture d'armes et de grands ateliers dans les quartiers du Marais et de la Chaléassière, une nouvelle conduite se jonctionnant avec celle de la route Nationale a dû être établie à travers ces quartiers dans le côté nord-est de la ville; elle a été embranchée sur la cuve F du Grand-Cimetière, dont le débit a été augmenté en conséquence.

3o. *Pertes des charges et débit des principales conduites.* — Le réseau des conduites de distribution dans l'intérieur de la ville a été calculé de façon à pouvoir débiter 20.000 mètres cubes par vingt-quatre heures, tout en conservant une pression disponible de 25 à 30 mètres sur les points à desservir. Le débit de 20.000 mètres cubes, qui sera très-certainement atteint dans l'avenir, est supérieur aux besoins actuels de la ville de Saint-Étienne, dont la consommation ne s'élève pas au-dessus de 13.000 mètres cubes, soit de 150 litres par seconde (*).

Le débit de 150 litres par seconde se répartit ainsi qu'il suit entre les diverses conduites. La conduite de $0^{m},50$ *Ab*, qui part du bassin du Rey, débite, à son origine, les 150 litres; elle laisse à la conduite du boulevard Fauriel *Arm* $4^{lit},83$ pour l'alimentation du boulevard et de l'embranchement des usines de Terrenoire, et $0^{lit},67$ pour l'alimentation du quartier de la Mulatière. Au point *b*, son débit n'est plus que de $144^{lit},50$. Là elle donne à la conduite est en haute pression $51^{lit},05$ et à la conduite ouest $93^{lit},45$.

La conduite ouest *bcdefg* de $0^{m},30$ de diamètre part du regard de la rue de Valbenoîte avec un débit de $93^{lit}45$; elle laisse au bassin de Champagne D $25^{lit},46$, à la cuve de Tardy G $22^{lit},78$, à la cuve des Noyers H $25^{lit},11$. Le surplus, soit $20^{lit},10$, est absorbé par les embranchements en haute pression qu'elle dessert.

(*) Depuis que cette notice a été écrite, la consommation d'eau a notablement augmenté, et elle est aujourd'hui de 15.000 à 16.000 mètres cubes. On a donc sagement agi en calculant largement le réseau de distribution.

La conduite est *bmnopq* de $0^{m},216$ de diamètre part du regard Valbenoîte avec un débit de $51^{lit},05$. Elle laisse à la cuve du jardin des Plantes E $22^{lit},77$, à la cuve de la rue du Repos F, $22^{lit},10$. Le surplus de son débit, soit $6^{lit},18$, est absorbé par les embranchements et les concessions qu'elle dessert.

D'après cela, le réseau en basse pression reçoit du réseau en haute pression $25^{lit},46$ par le bassin de Champagne, $22^{lit},78$ par la cuve de Tardy, $25^{lit},11$ par la cuve des Noyers, $22^{lit},77$ par la cuve du jardin des Plantes, $22^{lit},10$ par la cuve de la rue du Repos, soit en totalité, $118^{lit},22$. La conduite qui part du bassin de Champagne a $0^{m},30$ de diamètre, celles qui partent des cuves ont $0^{m},216$. Avec ces diamètres et les débits indiqués ci-dessous, l'équilibre de pression de l'eau entre les cinq points d'alimentation s'effectue vers le centre de la ville, et maintient une pression à peu près uniforme dans tout le réseau.

Lorsque la consommation dépasse accidentellement dans le réseau en basse pression $118^{lit},22$, le débit de la conduite partant du bassin de Champagne augmente et le niveau baisse dans le réservoir. Si au contraire la consommation est inférieure à $118^{lit},22$, le débit de la conduite du bassin de Champagne diminue et le niveau monte dans ce réservoir. Si le fait qui modifie la consommation de tel ou tel quartier de la ville tend à prendre un caractère permanent, on assure l'alimentation en réglant, à l'aide des robinets-vannes, soit l'alimentation des cuves, soit l'alimentation du bassin de Champagne, de manière à conserver l'uniformité de pression et l'équilibre vers le centre de la ville.

31. *Bassins de distribution.* — Les considérations générales qui précèdent donnent une idée des dispositions adoptées pour la distribution d'eau de la ville de Saint-Étienne, nous devons indiquer maintenant le mode de construction des bassins et des conduites.

Les réservoirs de la distribution d'eau de la ville de Saint-Étienne présentent une capacité de 15.900 mètres cubes, savoir :

	mèt. cub.
Bassins du Rey.	7.000
Bassin du Jardin des Plantes.	1.100
Bassin de Sainte-Barbe.	1,100
Bassin de Champagne.	6.700
Total égal.	15.900

Le volume emmagasiné peut suffire à l'alimentation complète de Saint-Étienne pendant trente heures et pendant sept jours à l'alimentation réduite à 20 litres par tête.

Bassin du Rey. — Le bassin du Rey reçoit directement l'eau de l'aqueduc des sources; il se compose de deux compartiments ayant chacun 41 mètres de longueur sur 27 mètres de largeur, séparés par un mur de refend de 2 mètres d'épaisseur. Chacun d'eux est composé de sept berceaux en plein cintre de $5^m,20$ de diamètre et de $2^m,40$ de pieds-droits. Les pieds-droits des berceaux ont $0^m,80$ d'épaisseur aux naissances et 1 mètre à la base; ils sont percés de voûtes en plein cintre de 1 mètre de large et de $2^m,40$ de hauteur sous clé, espacées de $2^m,40$ d'axe en axe.

Le niveau de l'eau est réglé à $4^m,40$ au-dessus du fond; la hauteur des voûtes étant de 5 mètres entre le radier et la clé, il reste au-dessus de l'eau, lorsque les bassins sont pleins, un espace libre de $0^m,60$.

Les murs formant le pourtour des bassins présentent une épaisseur de $1^m,70$ aux naissances des voûtes et de $1^m,80$ au niveau du radier. Leur parement extérieur est vertical et leur parement intérieur présente un fruit de $0^m,10$ sur $2^m,40$ de hauteur; ce même fruit existe sur les pieds-droits des voûtes en berceaux.

Ces voûtes ont $0^m,40$ d'épaisseur à la clé, et sont extradossées suivant des arcs de cercle de $11^m,45$ de rayon;

elles sont recouvertes d'une chape en mortier hydraulique de $0^m,08$ d'épaisseur.

Tout l'ouvrage repose sur un radier en béton dont l'épaisseur de $0^m,40$ est portée à $0^m,70$ sous les murs de pourtour et les pieds-droits des voûtes.

Le bassin étant en déblais, pour éviter les sous-pressions, on a établi sous le radier une ligne de drains dans l'axe de chaque berceau. Ces drains, formés de tuyaux en poterie de $0^m,06$ à joints ouverts avec manchons, sont posés dans des aqueducs à pierres sèches; ils recueillent les eaux du terrain naturel dont l'écoulement est facilité le long du mur de pourtour par un empierrement de $0^m,30$ d'épaisseur appliqué contre le parement extérieur des maçonneries. Ces eaux sont dirigées dans un collecteur qui longe le mur intérieur du bassin et vient dégorger dans le fossé de la route.

On pénètre dans le bassin par une voûte en berceau établie sur le mur séparatif des deux compartiments et donnant accès à des escaliers scellés dans le mur de face du bassin. Le seuil de la porte d'entrée et la plate-forme qui fait suite sont à $0^m,20$ en contre-haut du niveau maximum de la retenue.

Pour éclairer le bassin et faciliter l'échappement de l'air au moment du remplissage, on a établi dans le milieu de chaque berceau un regard de $0^m,80$ de largeur fermé par une trappe en tôle percée de trous; la trappe en tôle se trouve à $0^m,10$ en contre-haut du remblai qui recouvre le bassin sur $1^m,20$ d'épaisseur.

La chambre des robinets, qui a $4^m,80$ de largeur sur $10^m,40$ de longueur, est établie dans l'axe du bassin en face du mur de séparation des deux compartiments. Son radier est à $0^m,60$ en contre-bas de celui du bassin, et l'on y accède directement par la route. Elle contient tous les robinets et appareils d'alimentation et de vidange. L'eau de l'aqueduc des sources se déverse dans un puisard de 5 mè-

tres de profondeur adossé au mur latéral d'amont de la chambre des robinets, et de ce puisard partent deux conduites de $0^m,50$ qui le mettent en communication avec chacun des deux compartiments du bassin. Les conduites de départ et les robinets sont d'ailleurs tellement disposés qu'il est possible : 1° d'alimenter séparément chacun des deux compartiments ou de les alimenter simultanément; 2° d'alimenter la ville de Saint-Étienne à l'aide d'un seul compartiment ou des deux compartiments à la fois, ou directement par les eaux de l'aqueduc.

Deux conduites de $0^m,30$ et de 0,162 de diamètre débouchant dans un aqueduc établi sous la route, assurent la vidange des bassins. Ces conduites reçoivent également les eaux du trop-plein qui s'épanchent sur les déversoirs pratiqués dans le mur de face du bassin à la hauteur maxima de la retenue.

Un autre déversoir de 4 mètres de longueur avec vanne de fond est établi sur l'aqueduc en amont du puisard, et assure l'écoulement du trop-plein.

Tout le bassin du Rey est construit en maçonnerie ordinaire avec mortier de chaux hydraulique du Theil ou de Cruas (Ardèche). Le radier est en béton. Il est recouvert d'un enduit en mortier de ciment de Vassy de $0^m,03$ d'épaisseur; l'enduit des pieds-droits et du mur de pourtour jusqu'au niveau de la retenue n'a que $0^m,025$.

La dépense de construction du bassin du Rey s'est élevée pour les deux compartiments à la somme de 149.000 fr., savoir :

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX de l'unité.	DÉPENSES.
		francs.	francs.
Déblais, y compris le transport en dépôt ou le remploi sur les voûtes.	9.600^{mc}	1,48	14.208
Maçonnerie de chaux hydraulique.	4.400^{mc}	13,80	60.720
Maçonnerie de béton composée de 0^{mc},50 de mortier pour 0^{mc},90 de pierres cassées. . .	600^{mc}	17,00	10.200
Maçonnerie de pierre de taille.	23^{mc}	62,00	1.426
Parement vu de la pierre de taille.	215^{mq}	7,00	1.505
Chape sur les voûtes en mortier hydraulique de 0^{m},05 d'épaisseur et bitumage factice de 0^{m},01 d'épaisseur.	2.400^{mq}	4,00	9.600
Enduits en ciment de 0^{m},03 d'épaisseur. . . .	6.620^{mq}	3,40	22.502
Bois de sapin pour cintres	100^{mc}	45,00	4.500
Drainages, maçonneries en pierres sèches derrière les murs.	»	»	2,500
Robineterie.	»	»	10.000
Total.			137.161
Dépenses diverses, épuisements, frais de surveillance.			11.839
Total.			149.000

La capacité du bassin étant de 7.000 mètres cubes, la dépense, y compris la robineterie, ressort à 21^{f},30 par mètre cube.

Bassins de Sainte-Barbe et du jardin des Plantes. — Les bassins de Sainte-Barbe et du jardin des Plantes sont construits sur le même type que le bassin du Rey. (Voir Pl. 5, *fig.* 2 et 3.) Ils sont formés l'un et l'autre d'un seul compartiment de 17^{m},20 de largeur sur 17^{m},20 de longueur recouvert par trois voûtes en berceau de 5^{m},20 de diamètre et de 2^{m},40 de pieds-droits. La hauteur d'eau est de 4^{m},60. Les maçonneries ont les mêmes dimensions qu'au bassin du Rey et reposent sur un radier en béton de 0^{m},40 d'épaisseur. La chambre des robinets placée dans l'axe des bassins a 4 mètres de profondeur. Elle renferme une conduite d'amenée, une conduite de départ et une conduite de vidange sur laquelle vient se souder une conduite de trop-plein mise en communication avec le déversoir de superficie du bassin. Les robinets sont disposés de façon que le bassin puisse être isolé à volonté du réseau de distribution, et des drainages établis sous le radier assurent d'ailleurs l'écoulement des eaux du terrain naturel.

La dépense des travaux des bassins de Sainte-Barbe et du jardin des Plantes s'est élevée à 66.000 francs, savoir :

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX de l'unité.	DÉPENSES.
		francs.	francs.
Déblais pour fouilles transportés en dépôt ou employés en remblais sur les voûtes. . . . ,	3.500^{mc}	3,00	10.500
Maçonnerie ordinaire avec mortier de chaux du Theil on de Cruas.	1.700^{mc}	14.80	25,160
Maçonnerie de béton pour radier composée de 0^{m},50 de mortier pour 0^{m},90 de pierres cassées.	440^{mc}	17,50	7.700
Maçonnerie de pierre de taille de grès. . . .	12^{m}.60	62,00	744
Parement vu.	94^{mq}	7,00	658
Chape en mortier sur les voûtes.	920^{mq}	1,40	1.288
Enduits en mortier de ciment.	2.000^{mq}	3,40	6.800
Bois de sapin pour cintres.	80^{mc}	45,00	3.600
Drainage et garniture en pierres sèches derrière les murs.	210^{mc}	5,00	1.050
Robineterie.	»	»	4.000
Total.			61.500
Dépenses diverses, frais de surveillance.			4.500
Total égal.			66.000

Le cube total emmagasiné étant de 2.200 mètres cubes dans les deux bassins, la dépense ci-dessus fait ressortir le prix du mètre cube d'eau à 33 francs.

Bassin de Champagne. — Le bassin de Champagne a été construit par la ville de Saint-Étienne en 1850 ; il recevait l'eau directement du Furens et commandait l'ancien réseau de distribution. Il a été conservé dans la nouvelle distribution et sert à la fois de réservoir d'alimentation et de compensation pour le réseau en basse pression. Il affecte la forme d'un rectangle de 19^{m},88 de largeur à l'origine, de 15^{m},39 de largeur à l'extrémité et de 170 mètres de longueur. Il est recouvert par trois voûtes cylindriques dont les deux latérales ont 6^{m},15 de diamètre, et dont la voûte centrale a 6^{m},18 à l'origine et 1^{m},69 à l'extrémité. Le bassin de Champagne se compose ainsi de trois compartiments qui peuvent être isolés les uns des autres ou concourir tous à la fois à l'alimentation.

Des travaux importants de restauration ont dû être exé-

cutés dans le bassin de Champagne. Tout l'intérieur a été revêtu d'un enduit en ciment de Vassy de $0^m,025$ d'épaisseur, et les pieds-droits des voûtes ont été consolidés par des solives en maçonnerie de ciment. Ces travaux confortatifs nous ont permis de porter à $2^m,45$ la hauteur de l'eau qui n'était avant que de $1^m,50$, et d'augmenter de 3.700 mètres cubes la réserve qui atteint aujourd'hui 6.700 mètres cubes.

L'arrivée de l'eau dans le bassin s'effectue par un embranchement de $0^m,30$ de diamètre qui se détache de la conduite principale ouest en haute pression.

Le tuyau débouche dans le fond d'une petite cuve en maçonnerie placée à un niveau supérieur à celui de la retenue maxima du bassin et qui déverse ses eaux dans chacun des compartiments du réservoir.

Le départ a lieu à l'autre extrémité du bassin par une conduite de $0^m,30$, qui part d'un puisard alimenté par trois vannes en bronze commandant les trois compartiments du bassin.

La vidange s'effectue du même côté que l'arrivée par trois bondes de fond qui déchargent les eaux dans l'égout de la ville.

Des ouvertures pratiquées dans les pieds-droits des voûtes mettent les trois compartiments en communication à partir de $1^m,50$ au-dessus du radier.

Le niveau maximum actuel est réglé par un déversoir de $1^m,50$ de longueur établi a $2^m,45$ au-dessus du fond. Les eaux déversées sur sa crête s'écoulent dans l'aqueduc de vidange.

La dépense des travaux de restauration du bassin de Champagne s'est élevée à 45.000 francs, savoir :

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX de l'unité.	DÉPENSES.
		francs.	francs.
Maçonnerie ordinaire avec mortier de chaux du Theil et moellons de grès.	100^{mc}	15,00	1.500
Maçonnerie de pierre de taille.	5^{mc}	62,00	310
Parement vu de la pierre de taille.	35^{mq}	7,00	245
Rocaillage avec mortier de ciment dans les joints de la vieille maçonnerie.	6.000^{mq}	2.50	15.000
Enduits de $0^{m},03$ en mortier de ciment de Vassy.	5.400^{mq}	3,40	18.560
Maçonnerie de ciment de Vassy.	30^{mc}	38,00	1.140
Total.			36.755
Robineterie, fontainerie, vannes.			2.500
Total.			39.255
Dépenses diverses, surveillance, etc.			5.745
Total égal.			45.000

32. *Cuves de distribution.* — Les cuves destinées à l'alimentation du réseau en basse pression sont en maçonnerie hydraulique revêtue d'un enduit en ciment (voir Pl. 5, *fig.* 4 et 5) elles sont établies en déblai ; et se composent de deux compartiments. Dans le premier qu'on peut appeler la chambre des manœuvres, et dans lequel on descend par un regard muni d'une trappe en fonte, se trouvent la conduite en haute pression et les robinets de manœuvre. Le deuxième compartiment, de 1 mètre de longueur sur 1 mètre de largeur, constitue la cuve proprement dite dans laquelle débouche le tuyau de prise sur la conduite en haute pression, et d'où part la conduite en basse pression, destinée à débiter l'eau fournie à la cuve par la haute pression. Un déversoir est ménagé sur un des côtés de la cuve de façon à faire écouler le trop-plein dans un aqueduc de décharge et à éviter tout déversement.

33. *Mode de construction de la canalisation.*— La canalisation de la ville de Saint-Étienne est tout entière en fonte. Les tuyaux ont été fournis par MM. Boignes, Rambourg et compagnie et la pose a été faite par la maison Flicoteaux, de Lyon. Les tuyaux sont à emboîtement et

cordon; ils ne portent des brides que pour les raccords avec les appareils de la distribution. Le tableau suivant indique le poids et les principales dimensions des différents diamètres employés.

DIAMÈTRES.	LONGUEUR utile.	POIDS		ÉPAISSEURS normales.		EMBOITEMENTS.			BRIDES.				MANCHONS.
		de chaque tuyau.	au mètre courant.	Tuyaux droits.	Courbes.	Longueur.	Épaisseur.	Diamètre intérieur.	Diamètre extérieur.	Épaisseur.	Fruit.	Nombre de tours.	Poids.
0,500	2,50	551	196	0,016	0,020	0,13	0,021	0,556	0,682	0,024	0,003	12	241
0,300	—	276	108	0,013	0,016	0,13	0,018	0,350	0,474	0,021	—	8	112
0,250	—	215	75	0,012	0,015	0,11	0,017	0,298	0,411	0,02	—	6	82
0,216	—	171	62	0,0115	0,015	—	0,0155	0,250	0,377	0.018	—	6	66
0,192	—	146	52	0,011	0,0145	—	0,015	0,232	0,347	0,018	—	6	56
0,135	—	96	35	0,01	0,012	—	0,014	0,175	0,280	0,017	—	5	38
0,108	—	78	28	0,01	0,012	—	0,014	0,148	0,253	0,017	—	4	27
0,081	—	58	20	0,0095	0,0115	—	0,0135	0,120	0,224	0,016	—	3	20
0,054	—	34	13,5	»	»	—	»	»	»	»	»	»	»
0,040	1,50	14,5	9,7	»	»	—	»	»	»	»	»	»	»

Les joints des tuyaux à emboîtement sont faits avec de la corde goudronnée et du plomb fondu. La corde est mattée au refus à l'aide d'un ciseau, de manière à laisser dans l'emboîtement un vide circulaire de 0^m,04 de profondeur dans lequel on coule le plomb qui est lui-même matté après le refroidissement. Les joints à brides sont faits à l'aide d'une rondelle en plomb de 0^m,015 à 0^m,020 d'épaisseur serrée dans le joint par les boulons et mattée après le serrage.

Les conduites ont été posées de façon que le dessus du tuyau se trouve à 1^m,40 en contre-bas du niveau du sol. Leur prix de revient en mètre courant s'établit ainsi qu'il suit :

DÉTAIL pour 1 mètre courant de tuyau.	PRIX ÉLÉMENTAIRE.	DIAMÈTRE de $0^{m},50$		DIAMÈTRE de $0^{m},30$		DIAMÈTRE de $0^{m},25$		DIAMÈTRE de $0^{m},216$		DIAMÈTRE de $0^{m},192$		DIAMÈTRE de $0^{m},135$		DIAMÈTRE de $0^{m},108$		DIAMÈTRE de $0^{m},081$		DIAMÈTRE de $0^{m},054$		DIAMÈTRE de $0^{m},040$	
		Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.	Quantité en mètre courant.	Prix en mètre courant.
	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.	m. q.	fr.
Démontage de la chaussée et remise en place.	0,70	1,60	1,12	1,30	0,91	1,30	0,91	1,30	0,91	1,20	0,84	1,15	0,80	1,05	0,73	1,00	0,70	1,00	0,70	1,00	0,70
Ouverture de la tranchée dans les terres fortes.	0,40	2,30	0,92	1,60	0,64	1,50	0,60	1,45	0,58	1,40	0,56	1,25	0,50	1,10	0,44	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40
Dressement de fond et façon des niches.			0,40		0,20		0,17		0,17		0,16		0,13		0,10		0,09		0,08		0,08
Enlèvement des terres excédantes. . .			0,30		0,20		0,17		0,17		0,16		0,13		0,10		0,09		0,08		0,08
Remblais pilonnés. .	0,25	2,30	0,57	1,60	0,40	1,50	0.36	1,45	0,36	1,40	0,35	1,25	0,31	1,10	0,27	1,00	0,25	1,00	0,25	1,00	0,25
Fourniture de la fonte.	0,165	221^{k}	36.46	111^{k}	18,32	86^{k}	14,19	69^{k}	11,39	58^{k}	9,57	38^{k}	6,27	31^{k}	5,11	20^{k}	3,30	14^{k}	2,31	9^{k}	1,43
Transport à pied d'œuvre, descente et mise en place.			1,00		0,80		0,75		0,75		0,70		0,60		0,55		0,40		0.30		0,25
Plomb, corde goudronnée et façon des joints.			5,00		3,00		2,80		2,50		2,00		1,40		1,20		0,90		0,70		0,60
Total.			45,77		24,47		19,95		16,93		14,34		10,14		8,50		6,13		4,82		3,84
Outils, faux frais et bénéfice 10 p. 100.			6,86		3,67		2,99		2,64		2,15		1,52		1,27		0,92		0,72		0,58
Prix total par mètre courant de conduite.			52,63		28,14		22,94		19,57		16,49		11,66		9,77		7,05		5,54		4,42

Lorsqu'on rencontrait du rocher dans les fouilles, il était payé à part au prix de 1f,50 pour le rocher à la pince, et de 2f,50 pour le rocher à la mine.

34. *Appareils employés dans la distribution.* — Les appareils employés dans la distribution comprennent : 1° les robinets, 2° les clapets de décharge, 3° les ventouses, 4° les bornes-fontaines, 5° les bouches d'arrosage et d'incendie.

Robinets. — Les robinets sont ceux du modèle Herdevin modifiés, adoptés dans la distribution des eaux de Paris. Ces robinets (voir Pl. 5, *fig.* 6) à fermeture métallique consistent dans une vanne circulaire qui monte et descend dans le tuyau, de manière à obstruer complétement la section ou à ne laisser libre qu'une partie de cette section. La vanne est en forme de coin, de manière à assurer par la compression latérale une fermeture hermétique. Les surfaces frottantes de la vanne et des parois des tuyaux sont en bronze. Les mouvements de montée ou de descente de la vanne s'opèrent à l'aide d'une vis en bronze fixe qui traverse un écrou en bronze mobile logé dans une rainure pratiquée dans la partie supérieure de la vanne. La tête de la vis traverse le chapeau du robinet à l'aide d'une boîte à étoupe en dessous de laquelle est ménagée dans l'épaisseur de la fonte une cavité dans laquelle vient se loger le prisonnier de la vis. La vanne est guidée dans son mouvement ascensionnel par deux coulisses, dans lesquelles pénètrent les ailettes de la vanne. Tout le corps du robinet est d'une seule pièce de fonte ; la partie supérieure du chapeau peut seule être enlevée pour faciliter les réparations. Cette disposition évite les joints verticaux qui existaient dans l'ancien modèle de la ville de Paris et permet de coincer la vanne dans les coulisses sans nuire à la précision d'ajustage des robinets.

La visite de l'intérieur du robinet s'effectue d'ailleurs avec la plus grande facilité. Une fois la boîte à étoupe enlevée, on peut retirer la tige en bronze, et si l'on veut arri-

ver jusqu'à la vanne, il suffit de défaire le joint horizontal du chapeau.

On effectue la vidange du robinet en desserrant les boulons de la plaque en fonte qui ferme la partie inférieure à l'aplomb de la vanne.

Les robinets se posent sur les conduites à l'aide de deux joints à brides. Pour la manœuvre on recouvre la tige en bronze d'un chapeau en fonte, sur lequel le fontainier place le cadre de la clé. Le pas de vis des tiges étant de $0^m,01$, chaque tour de la clé fait monter la vanne de $0^m,01$. La fermeture du robinet est donc forcément lente, et toute chance d'accident par les coups de bélier est évitée.

On a employé aussi sur le réseau en basse pression quelques robinets du système Bonin (voir Pl. 5, *fig.* 8), qui consistent en deux clapets garnis de gutta-percha qu'un mouvement de vis fait appliquer contre les parois de deux sections obliques d'un diamètre égal à celui de la conduite sur laquelle le robinet doit être placé. Ces robinets, qui ont l'avantage d'être moins coûteux que ceux du système Herdevin, nous ont donné d'excellents résultats.

Les dimensions principales, les poids et les prix de revient des robinets Herdevin sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

DIAMÈTRE des orifices.	ÉCARTEMENT entre les brides.	DIAMÈTRE des brides.	HAUTEUR du robinet.	POIDS.	PRIX	
					à l'usine à Paris.	posé à Saint-Étienne.
mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	kilog.	francs.	francs.
0,500	0,900	0,695	1,600	1.160	1.020	1.150
0,300	0,680	0,475	1,20	450	515	610
0,250	0,580	0,410	1,00	290	386	470
0,216	0,520	0,380	0,920	230	340	410
0,190	0,490	0,355	0,880	195	285	345
0,135	0,420	0,290	0,700	120	200	250
0,108	0,390	0,250	0,650	100	170	210
0,081	0,300	0,230	0,500	49	125	160
0,054	0,240	0,180	0,350	31	65	76

Les prix des robinets à clapets, système Bonin, sont inférieurs à ceux-ci d'environ 20 p. 100.

Les robinets d'un diamètre inférieur à $0^m,054$ sont des robinets à boisseau ordinaires disposés de façon à mettre en décharge la partie de la conduite dans laquelle on veut intercepter le passage de l'eau.

Regards de manœuvre et bouches à clé. — Les robinets d'un gros diamètre ont généralement été placés dans des regards en maçonnerie fermés par des trappes en fonte. Ceux d'un diamètre plus petit ont été posés en terre sous bouche à clé. A cet effet, on a établi tout autour du robinet une maçonnerie de briques s'élevant jusqu'à la hauteur de la tige du robinet et sur laquelle on a placé une planche en chêne de $0^m,03$ d'épaisseur percée d'un trou pour laisser passer le chapeau de la tige du robinet. Cette planche, posée bien horizontalement, supporte un tuyau en bois fretté à sa partie supérieure et coupé en longueur de façon que son extrémité soit au niveau de la chaussée. Lorsque la fouille est remblayée et que la chaussée est rétablie, l'ouverture pratiquée dans l'axe du tuyau permet d'introduire une clé à long manche et de manœuvrer le robinet. L'extrémité de la bouche est d'ailleurs munie d'une plaque en fonte qui ferme l'orifice du tuyau lorsque la manœuvre est effectuée.

Réservoirs d'air. — Malgré la fermeture lente des robinets d'arrêt, il a paru utile, pour éviter les coups de bélier dans les conduites en haute pression où la charge atteint 60 à 80 mètres, de placer aux points bas de leurs parcours deux cloches à air. Ces appareils en fonte sont des sphères creuses de $1^m,30$ de diamètre intérieur et de $0^m,025$ d'épaisseur. Ils sont fixés par un joint à bride sur une tubulure verticale de la conduite. Il suffit, pour assurer leur fonctionnement régulier, de renouveler l'air qu'ils contiennent en mettant de temps en temps la conduite en décharge.

Clapets de décharge. — La vidange des conduites est assurée dans les points bas du réseau par des clapets fixés

par un joint à bride à des tubulures tangentes. Ces clapets (voir Pl. 5, *fig.* 7), qui ont été fournis par les usines de l'Horme, près de Saint-Julien, consistent dans une plaque circulaire en fonte dont la partie inférieure, garnie de caoutchouc vulcanisé, peut être comprimée à l'aide d'une tige en bronze filetée contre le rebord en fonte de l'orifice à fermer. La tige traverse le chapeau du clapet à l'aide d'une boîte à étoupes et vient passer dans l'écrou fixe qui est porté par une chapelle en fonte solidaire avec le couvercle du clapet.

Les appareils sont posés dans des regards ou simplement sous bouche à clé en tête d'aqueducs de décharge. Le diamètre des orifices est de $0^m,135$ et de $0^m,081$.

Leur prix de revient est indiqué dans le tableau ci-dessous :

DIAMÈTRE des tubulures tangentes et des orifices.	POIDS de l'appareil.	PRIX à l'usine.	PRIX posés à Saint-Étienne.
mètres.	kilog.	francs.	francs.
0,135	»	75	83
0,081	»	60	66

Ventouses. — Le dégagement de l'air au moment de la mise en charge des conduites est assuré dans la plupart des cas par des bornes-fontaines ou des bouches d'arrosage qu'on ouvre pendant le remplissage des conduites. Sur quelques points cependant on a été conduit à employer des ventouses. Ces appareils (voir Pl. 5, *fig.* 9) consistent en une boule creuse en laiton ayant à peu près la même densité que l'eau et munie d'une tige verticale portant à son extrémité un clapet en bronze de $0^m,05$ de diamètre qui peut obturer un orifice conique ménagé dans le couvercle de la ventouse. L'appareil est fixé sur une tubulure verticale ménagée sur la conduite au point où l'on a à redouter un emmagasinement d'air. Tant qu'il n'y a que de l'air dans la tubulure, le poids de la boule tient le clapet ouvert et l'air s'échappe. La boule remonte dès qu'elle est atteinte

par l'eau et l'obturation de l'orifice a lieu. Les ventouses ont toutes été posées sur tubulures de $0^m,135$ et ont été payées 70 francs pièce.

Bornes-fontaines. — Les bornes-fontaines employées dans la distribution des eaux de Saint-Étienne sont en fonte. On puise l'eau en appuyant sur un bouton qui se trouve à la partie supérieure de la borne. Ce bouton presse un levier qui comprime un ressort et relève un clapet garni de cuir fermant l'orifice de la colonne d'amenée. Quand la main abandonne le bouton, le ressort appuie le clapet sur l'orifice qui reste fermé. La borne-fontaine, habituellement à jet intermittent, peut être mise à jet continu au moyen d'une vis en bronze qui passe dans l'extrémité du levier et soulève à la hauteur qui est nécessaire le clapet d'alimentation. La borne est munie latéralement d'une porte fermée par une serrure qui permet de visiter l'intérieur de l'appareil et d'effectuer les réparations nécessaires qui consistent, dans la plupart des cas, à changer le cuir du clapet ou le ressort. Un robinet sous bouche à clé est d'ailleurs établi sur le branchement en plomb de la borne et permet d'isoler l'appareil du surplus de la canalisation.

L'eau est donnée par un bec en fonte en saillie sur le parement de la borne. Le trop-plein tombe dans une cuvette en fonte recouverte d'une grille en fer placée au niveau du trottoir; une gargouille en fonte met en communication la cuvette avec le caniveau de la chaussée.

Les bornes-fontaines ont été construites dans les ateliers de M. Flicoteaux, à Lyon; elles ont été payées toutes posées, non compris le branchement en plomb, 164 francs, savoir :

	francs.
Fourniture de la borne, de la cuvette et de la gargouille.	85
Prise d'eau complète du diamètre de 0,027 avec robinet d'arrêt	64
Pose de la borne-fontaine, faux frais, bénéfice.	15
Total égal.	164

Bouches d'eau. — Les bouches d'eau sont circulaires et ont $0^m,20$ de diamètre. Elles ont été fabriquées, comme les bornes-fontaines, dans les ateliers de M. Flicoteaux. Elles renferment, sous un même couvercle en fonte, l'extrémité de la tige du robinet de prise d'eau qui se trouve à $0^m,80$ en contre-bas dans le sol, le robinet de service qui permet de régler le débit de la bouche et enfin un raccord à incendie et à arrosage. Lorsque le robinet de prise est ouvert, la bouche est en charge, et en ouvrant le robinet de service l'eau s'écoule sur la chaussée par le tuyau en plomb qui, partant de la bouche, traverse la bordure du trottoir. Pour arroser on enlève le couvercle qui recouvre le raccord et l'on visse le tuyau d'arrosage. Tout le mécanisme de la bouche est enfermé dans une deuxième enveloppe en fonte, de sorte qu'il peut être démonté et retiré de cette dernière sans qu'il soit nécessaire d'effectuer de déblais ni de toucher à l'asphalte ou au dallage du trottoir.

Les bouches sont payées toutes posées, non compris l'embranchement de plomb, 109 francs, savoir :

	francs.
Fourniture de la bouche complète.	99
Pose, réfection de l'asphalte ou du dallage, etc.	10
Total égal.	109

35. *Dépense totale de la canalisation.* — La dépense totale des travaux de canalisation de la ville de Saint-Étienne, comprenant 65.000 mètres de conduites et la pose de cent quarante bornes-fontaines et deux cent cinquante bouches d'arrosage, s'élève actuellement au chiffre de. . . . . 640.000 fr.
Si à cette dépense on ajoute celle de. . . . 280.000 fr.
déjà indiquée pour la construction des bassins, on arrive au total de. . . . . 920.000 fr.
qui représente la dépense complète des travaux de distribution d'eau dans l'intérieur de la ville.

CHAPITRE II.

Travaux du réservoir du gouffre d'Enfer sur le Furens.

36. *Indication générale des travaux du réservoir du Furens.* — Les travaux du réservoir du gouffre d'Enfer, sur le Furens, ont été entrepris, ainsi que nous l'avons déjà expliqué, dans le but :

1° De préserver la ville de Saint-Étienne des inondations auxquelles elle est périodiquement exposée;

2° De compléter en été le volume d'eau nécessaire à l'alimentation de la ville lorsque ce volume n'est pas fourni directement par les sources captées dans la partie haute de la vallée;

3° D'augmenter pendant la sécheresse le débit du Furens et d'atténuer ainsi la durée du chômage des usines (*).

Le réservoir est obtenu à l'aide d'un barrage de 50 mètres de hauteur qui ferme la vallée au point B du plan. (Voir Pl. 6, *fig.* 1.) Pour régler l'alimentation du réservoir, on a établi sur le lit du Furens, à 1.700 mètres en amont du point B, une ventellerie de prise d'eau A, composée de dix vannes. Cinq de ces vannes dirigent les eaux dans le réservoir; les cinq autres sont en tête du canal de dérivation ACGD qui est tracé à flanc de coteau avec une pente de $0^m,012$ par mètre, et qui rejoint le lit du Furens à l'aval du barrage au point D.

La vidange du réservoir est assurée par un tunnel EH percé dans le contre-fort qui sépare la vallée du Furens de la vallée secondaire d'Issertine. Ce tunnel renferme deux conduites en fonte de $0^m,40$ de diamètre encastrées à leur

---

(*) Voir aux *Annales* de 1866 le rapport de M. Graeff pour l'agencement général du réservoir et le concours de ses divers ouvrages au but complexe qu'il doit remplir, ainsi que pour le calcul du profil et le mode de construction du barrage.

origine dans un massif en maçonnerie de 11 mètres de longueur qui isole le réservoir du surplus du tunnel. Elles déchargent leurs eaux dans le puisard H d'où partent un canal à ciel ouvert HK qui va rejoindre le lit du Furens en K et un canal couvert HLM dont les eaux peuvent être jetées au point M dans l'aqueduc POMN des sources de la ville de Saint-Étienne.

Un second tunnel FG est percé dans le même contre-fort de la vallée d'Issertine, mais à $5^m,50$ seulement en contrebas du niveau maximum de la retenue des eaux dans le réservoir. Il est muni d'une vanne à son origine F et débouche en G dans le canal de dérivation. Il a pour but d'écouler rapidement après chaque grande crue la tranche d'eau supérieure du réservoir de $5^m,50$ de hauteur qui doit toujours rester libre pour permettre l'emmagasinement des eaux dommageables d'inondation.

Cette indication sommaire des travaux fait comprendre le rôle que chacun d'eux est appelé à remplir dans l'aménagement des eaux du réservoir. Nous devons maintenant faire connaître les données sur lesquelles on s'est appuyé pour déterminer les capacités du réservoir et de la tranche laissée vide pour les inondations.

37. *Capacité laissée vide dans le réservoir pour l'emmagasinement des crues.* — Il résulte des calculs faits sur la crue du Furens de 1849 par M. Graeff, ingénieur en chef, que le maximum de débit du cours d'eau s'est élevé à 131 mètres cubes par seconde et que l'inondation de la ville a commencé lorsque le débit a atteint 93 mètres cubes. Si donc on construit la courbe des débits pendant la crue en prenant pour abscisse les temps et pour ordonnées les débits, et si on trace une parallèle à l'axe des temps correspondant au débit de 93 mètres cubes, la partie de la crue qui a inondé Saint-Étienne sera représentée par la surface comprise entre cette ligne et la courbe. Son volume calculé ainsi a été évalué à 205.200 mètres cubes qu'il aurait fallu

emmagasiner dans le haut de la vallée à partir du moment où le débit du Furens atteignait 93 mètres cubes pour éviter toute inondation dans la ville de Saint-Étienne. C'est en partant de cette donnée et pour rester au-dessus de toute éventualité que M. l'ingénieur en chef a proposé de laisser constamment dans le réservoir du Furens une tranche vide de 5m,50 de hauteur destinée à recevoir la partie des crues dommageable à Saint-Étienne. Cette tranche vide correspond, d'après les courbes de niveau levées avec grand soin dans la vallée, à un cube de 400.000 mètres cubes, soit environ le double de celui qu'il aurait été nécessaire de retenir lors de la crue de 1849.

38. *Capacité totale du réservoir.—Mode de remplissage.* —La capacité totale du réservoir rempli jusqu'à la hauteur maxima de 50 mètres étant de 1.600.000 mètres cubes et la tranche laissée vide pour les crues étant de 400.000 mètres cubes, on voit que l'emmagasinement disponible pour les besoins des usines et de la ville de Saint-Étienne se réduit à 1.600.000 — 400.000mc = 1.200.000mc.

Comment s'opère le remplissage du réservoir et quel est son régime hydraulique?

Telle est la question que nous avons maintenant à examiner.

La surface totale du bassin hydraulique du Furens en amont du gouffre d'Enfer est de 2.500 hectares, sur lesquels il tombe en moyenne annuellement une hauteur d'eau de 0m,85, représentant un volume de 21.250.000 mètres cubes. Or le tableau des débits du Furens et des sources captées, calculé avec beaucoup de soin jour par jour depuis 1861, fait ressortir ce résultat que sur le volume annuel de 21.250.000 mètres cubes donné par les pluies, il n'en arrive que 65 p. 100 au thalweg, soit 14.000.000. Si de ce volume on retranche celui qui est nécessaire à la ville de Saint-Étienne soit, à raison de 150 litres par seconde, un cube annuel de 5 millions, on voit qu'il reste pour l'in-

dustrie de la vallée un volume de 9 millions de mètres cubes représentant un débit moyen de 300 litres par seconde, suffisant pour la marche régulière des usines.

Cette uniformité de débit ne peut être obtenue qu'en supposant que le réservoir du Furens soit assez vaste pour emmagasiner à chaque instant l'excédant au-dessus de 300 litres par seconde, qui se présentera dans le Furens en tête de la ventellerie de prise d'eau. Pour faire ressortir dans quelle limite ce fait se produit, nous avons tracé (Pl. 5, *fig.* 16) les courbes des debits des sources et du Furens pendant l'année 1868, qui peut être considérée comme une année moyenne (*).

39. *Courbes des débits des sources et du Furens.* — Ces courbes sont construites en prenant pour abscisses les temps et pour ordonnées les débits. La courbe *abcd* représente la courbe du débit des sources dont les ordonnées partent de l'axe *xy*, de sorte que l'aire *xabcdy* comprise entre la courbe et la ligne des abscisses correspond au débit total des sources pendant l'année.

La courbe *efghkl* représente le débit du Furens dont les ordonnées sont portées à partir de la courbe *abcd*, de sorte que le débit du Furens est représenté par l'aire *abcdefghkl* comprise entre les deux courbes.

Quant au débit total de toutes les eaux de la vallée (sources et Furens), il est indiquée par l'aire *xefghkly* comprise entre la courbe supérieure et l'axe des abscisses.

Si nous traçons sur cette figure la ligne AB correspondant au volume de 150 litres par seconde nécessaire à l'alimentation des fontaines de Saint-Étienne, et la ligne CD distante de la première d'une hauteur verticale correspondant au débit de 300 litres, qui est le débit maximum utilisable par

(*) L'usage de ces courbes a été prescrit en 1865 par une instruction spéciale de M. Graeff, relative à la constatation du régime du réservoir du Furens.

les usines, les surfaces comprises entre la courbe supérieure *efghkl* et les dessus de la ligne CD représenteront le volume d'eau emmagasinable, les surfaces comprises entre cette même courbe, et le dessous de la ligne CD représenteront le volume à fournir aux usines et à la ville pour maintenir à 300 litres le débit du Furens et à 150 le débit des fontaines. Le volume à fournir aux fontaines seulement sera représenté par la surface comprise entre la courbe inférieure *abcd* et le dessous de la ligne AB.

40. ***Régime hydraulique du réservoir pendant l'année* 1868.** — Conformément aux indications données par ces courbes, le régime du réservoir dans l'année 1868 a été le suivant :

Le réservoir contenait au 1er janvier 500.000 mètres cubes, reliquat de l'année 1867.

Il a eu à fournir du 1er au 13 janvier 224.000 mètres cubes, dont 28.000 mètres cubes aux fontaines et 160.000 mètres cubes aux usines.

La réserve au 13 janvier n'était plus que de 276.000 mètres cubes.

A ce moment-là les pluies ont commencé, et la quantité qui aurait pu être emmagasinée du 13 janvier au 1er juin s'est élevée à 3.307.000 mètres cubes.

Sur cette quantité, le réservoir, après avoir fourni 59.500 mètres cubes du 17 au 24 février et 22.000 mètres cubes du 16 au 23 mars, a gardé au 1er juin 1.200.000 mètres cubes disponibles pour les besoins d'été.

Il a donc laissé échapper à l'état de crue 3.307.000 mètres cubes moins (1.200.000+81.500) soit en nombre rond 2 millions de mètres cubes.

Pendant la période des sécheresses, qui a duré du 1er juin au 30 septembre, le réservoir a donné à la ville 558.000 mètres cubes, et aux usines, en sus du débit du Furens, 642.000 mètres cubes; ce qui a permis de maintenir le débit d'étiage du Furens à l'aval du réservoir pendant les

cent vingt jours qu'a duré la sécheresse au chiffre de 200 litres par seconde, et par conséquent de placer l'industrie de la vallée dans des conditions meilleures que celles qu'elle aurait eu si les travaux de la ville n'avaient pas été effectués.

Au 1er octobre les pluies ont recommencé, et jusqu'au 7 décembre le volume emmagasinable a atteint 2.254.000 mètres cubes sur lequel le réservoir a retenu 1.200.000 mètres cubes pour laisser passer à l'état de crue un volume en nombre rond de 1 million de mètres cubes.

41. *Projet de construction d'un deuxième réservoir sur le Furens pour l'aménagement complet des eaux de cette rivière.* — Le réservoir du gouffre d'Enfer, tel qu'il est établi, remplit donc le but qu'on s'est proposé ; il vient en aide aux captages de sources pour donner à la ville un volume de 13.000 mètres cubes par vingt-quatre heures, et assure, dans les années ordinaires, un débit d'étiage au Furens de 200 litres par seconde. Mais la ville de Saint-Étienne prévoit déjà le moment où le volume de 13.000 mètres cubes sera insuffisant pour son alimentation, et, d'autre part, les usines de la vallée se plaignent de l'insuffisance du débit de 200 litres par seconde en été. Pour satisfaire à ces nouveaux besoins, un deuxième réservoir de (*) 1.300.000 mètres cubes de capacité a été projeté à 2 kilomètres au-dessus de celui du gouffre d'Enfer, au lieu dit du Pas-du-Riot. Ce réservoir, dont le remplissage est assuré chaque année d'après ce qui vient d'être dit, est destiné à compléter d'une manière aussi satisfaisante que possible l'aménagement des eaux de la vallée ; il permettra de porter à

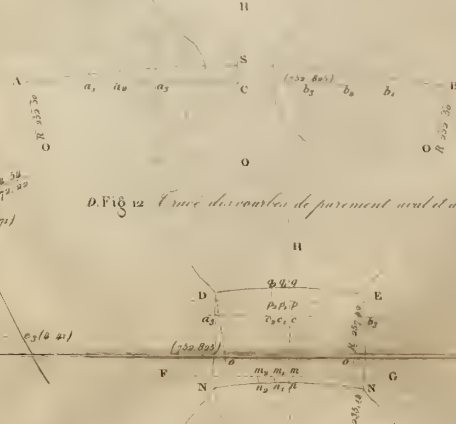
(*) Depuis 1870, époque où cette notice a été rédigée, la consommation a augmenté, et elle arrive aujourd'hui à 16.000 mètres cubes. Ce deuxième réservoir, que l'avant-projet de 1858 réservait pour un avenir éloigné, est aujourd'hui en construction, ce qui indique suffisamment avec quelle rapidité marche l'accroissement de la ville de Saint-Étienne.

A. Fig. 1. Plan du reservoir du Gouffre d'Enfer

Echelle A de 0m0001 pour 1m

E. Fig. 10. Détermination de la courbe des pressions du Barrage du Gouffre d'Enfer


D. Fig. 11. Tracé des axes du barrage


D. Fig. 12. Tracé des courbes de parement aval et amont

B. Fig. 2. Demi élévation à amont — Demi élévation d'aval

B. Fig. 3. Demi plan — Demi coupe au niveau des naissances

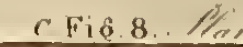
B. Fig. 4. Coupe transversale

B. Fig. 5. Profil en travers du canal de dérivation

Ventellerie de prise d'eau

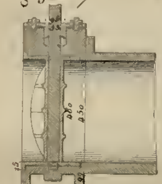
Valves de sûreté en tête des tuyaux de vidange

C. Fig. 6. Coupe horizontale


C. Fig. 8. Plan



C. Fig. 7. Élévation


C. Fig. 9. Coupe verticale

C. Fig. 13. Coupe verticale de l'appareil pour la manœuvre des valves

Pose des Gabarits

Fig. 24. Maçonnerie ordinaire

F. Fig. 23. Coupe transversale du tunnel

Réservoir de la Rive

Fig. 25. Risberme d'aval

B. Fig. 14. Élévation de la tête amont du tunnel inf.r

B. Fig. 15. Élévation de la tête amont du tunnel sup.r

E. Fig. 16. Coupe longitudinale de la tête amont du tunnel supérieur

E. Fig. 17. Coupe longitudinale de la tête aval du tunnel supérieur

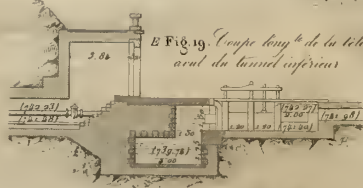


F. Fig. 26. Tête amont de l'aqueduc de vidange. Coupe longitudinale sur l'aqueduc de filtration

F. Fig. 27. Coupe verticale sur le puisard du tunnel

E. Fig. 18. Coupe longitudinale de la tête amont du tunnel inférieur

Conduite de prise d'eau — Tuyau de fond

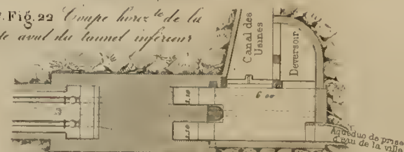

E. Fig. 19. Coupe long.le de la tête aval du tunnel inférieur

E. Fig. 20. Élévation de la tête aval du tunnel inférieur

F. Fig. 28. Plan

Aqueduc de filtration

E. Fig. 21. Coupe horizontale de la tête amont du tunnel inférieur

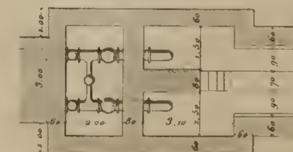


E. Fig. 22. Coupe horiz.le de la tête aval du tunnel inférieur


F. Fig. 29. Coupe suivant AB

F. Fig. 30. Coupe suivant CD

F. Fig. 31. Coupe horiz.le sur le puisard du tunnel



Echelle B de 0m002 pour 1m

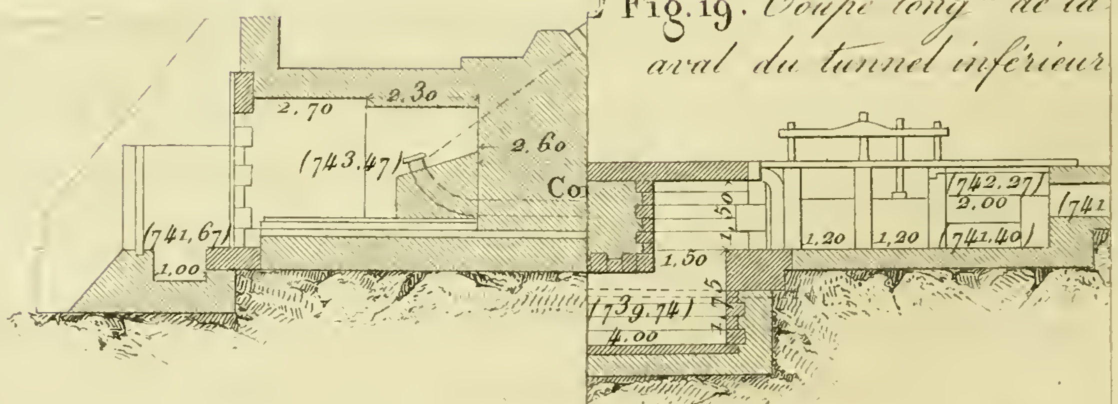
Echelle C de 0m04 pour 1m

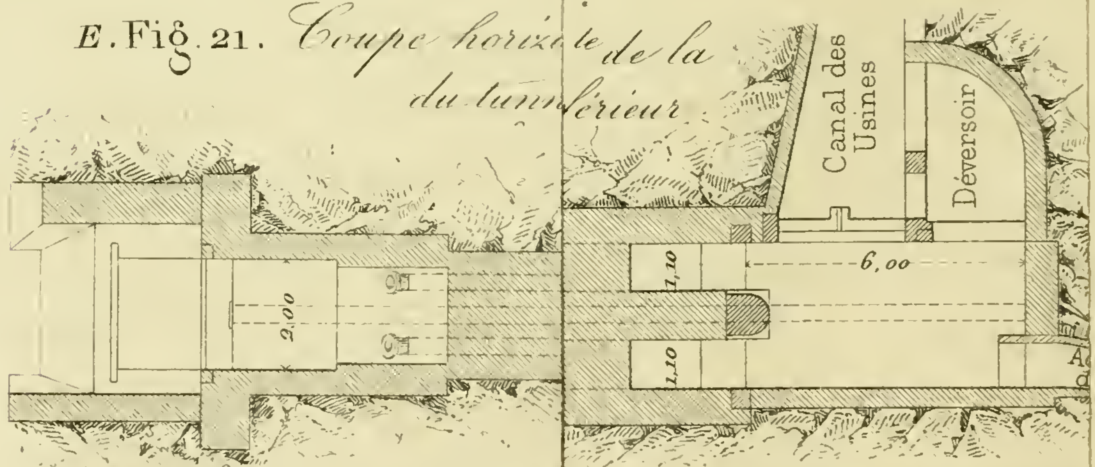
Echelle D de 0m001 pour 1m

Echelle E de 0m003 pour 1m

Echelle F de 0m005 pour 1m

Gravé par E. Pérot





Annales des Ponts et Chaussées

18.000 mètres cubes par vingt-quatre heures la consommation de Saint-Étienne et à 250 litres par seconde le débit d'étiage du cours d'eau. Le projet adopté en principe par le conseil municipal a été soumis à l'enquête et sera mis prochainement à exécution. La dépense, y compris les expropriations de terrains, est évaluée à 800.000 francs.

42. *Détails des travaux du réservoir du gouffre d'Enfer.* — L'étude détaillée des travaux du réservoir du gouffre d'Enfer, qui ont été déjà sommairement décrits, nous paraît devoir présenter quelque intérêt. Ces travaux comprennent la ventellerie de prise d'eau et le canal de dérivation, les tunnels de vidange inférieur et supérieur et le grand barrage en maçonnerie sur le Furens.

43. *Ventellerie de prise d'eau.* — La ventellerie de prise d'eau établie sur le lit même du Furens, en tête du canal de dérivation, à 450 mètres en amont de l'extrémité du remous produit par le barrage, se compose de dix vannes (voir Pl. 6, *fig.* 2, 3 et 4) dont cinq en tête du canal de dérivation et cinq en tête de l'ancien lit du Furens. Elles ont $1^m,50$ de largeur et $2^m,50$ de hauteur. Leur manœuvre est réglée d'après les principes suivants :

Tant que le niveau de l'eau dans le réservoir n'atteint pas $44^m,50$, niveau de la retenue permanente de la ville de Saint-Étienne, il y a intérêt à emmagasiner les eaux du Furens dans le réservoir, et dans ce but on ferme les cinq vannes du canal de dérivation et l'on ouvre les cinq vannes du côté du réservoir. L'alimentation des usines de la vallée est alors directement assurée par le réservoir.

Dès que le niveau de l'eau atteint $44^m,50$, on n'emmagasine plus dans le réservoir que la partie des crues qui serait dommageable à la ville de Saint-Étienne, et à cet effet on lève les vannes du canal de dérivation de façon que l'eau qui s'écoule par ce canal atteigne, sans la dépasser, une hauteur de 2 mètres, correspondant à un débit de 90 mètres cubes, égal à celui qui peut être débité

sans inconvénient dans la traversée de la ville de Saint-Étienne.

Dès que la crue est passée, on vide par le tunnel de vidange supérieur l'eau emmagasinée dans le réservoir au-dessus de la cote $44^{m},50$, et le réservoir est prêt à recevoir une deuxième crue si elle se présente.

Un déversoir de 20 mètres de longueur établi sur la rive gauche du canal de dérivation, un peu en amont du tunnel de vidange supérieur et dérasé au niveau de la retenue maxima à 50 mètres au-dessus du fond du réservoir, déverse les eaux de trop-plein du réservoir dans le canal de dérivation et ne permet pas au niveau de s'élever au-dessus du maximum prévu.

Le rôle des vannes de prise d'eau est, comme on le voit, capital dans le régime hydraulique du réservoir; toutes les précautions ont été prises pour que leur manœuvre se fasse sans difficulté.

Le massif de la maçonnerie forme un viaduc de cinq arches du côté du réservoir et de cinq arches du côté du canal de dérivation. (Voir Pl. 6, *fig.* 2, 3 et 4.) La plate-forme supérieure établie à $5^{m},30$ en contre-haut du radier a $4^{m},20$ de largeur; elle est munie du côté amont d'un parapet : on y accède latéralement par un chemin qui est ouvert sur la rive gauche de la vallée, et en son milieu par un escalier dont le pied aboutit sur le couronnement du mur de séparation du canal de dérivation de l'ancien lit du Furens.

Chaque arche est fermée par une vanne en tôle de $1^{m},62$ de largeur et de $2^{m},50$ de hauteur. La tôle, de $0^{m},010$ d'épaisseur, est renforcée par cinq cornières horizontales qui portent à leur extrémité des tasseaux en fonte destinés à guider la vanne dans des coulisses en fonte rabotée. La cornière du bas porte une garniture en bois de chêne qui est en saillie sur la tôle et vient reposer, lorsque la vanne est fermée, sur un seuil également en bois de chêne en-

castré dans le radier et présentant une surface arrondie. Ces dispositions donnent des fermetures suffisamment étanches.

La manœuvre des vannes s'effectue à l'aide de treuils en fonte qui sont scellés sur les pierres de taille de la plate-forme du viaduc. Chaque vanne porte deux crémaillères en fer engrenant dans des pignons de 0m,10 calés sur le même axe que deux roues en fonte de 0m,20 de diamètre qui sont mises en mouvement par deux vis sans fin sur l'arbre desquelles agissent les manivelles. L'effort pour lever les vannes ne dépasse pas 20 kilogrammes et un homme seul les manœuvre facilement.

La dépense de la ventellerie de prise d'eau s'est élevée à la somme de 35.000 francs, savoir :

1° *Maçonneries.*

	francs.
Déblais pour les fondations aux abords et dans les deux versants, 200 mètres cubes à 2f,80.	560
Maçonnerie ordinaire avec moellons de granit, chaux de Theil et sable de Furens ou de Planfoy, 230 mètres cubes à 11f,50. . .	2.645
Maçonnerie de pierre de taille, de grès de Saint-Étienne, 120 mètres cubes à 70 fr.	8.400
Parement vu de cette maçonnerie, 530 mètres carrés à 8 francs.	4.240
Maçonnerie de moellons piqués, 84 mètres cubes à 24 francs.	2.016
Parement vu de cette maçonnerie, 382 mètres carrés à 4 francs.	1.528
Bois pour cintres, 5 mètres cubes à 60 fr.	300
Total pour la maçonnerie.	19.689

2° *Vannes et treuils.*

	kilog.
Le poids d'une vanne avec la crémaillère est de.	650
Le poids d'un treuil est de.	830
Le poids des deux coulisses en fonte.	300
Total pour une vanne. . . .	1.780

Pour 10 vannes, le poids est de 17.800 kilog., ce qui donne, à $0^f.80$ le kilog. posé, une dépense de.	francs. 14.240
Total.	33.929
Travaux accessoires, frais d'épuisement. . .	2.071
D'où la dépense totale du barrage de prise d'eau ressort à.	36.000

44. *Canal de dérivation.* — Le canal de dérivation qui fait suite aux cinq vannes de droite du barrage de prise d'eau est établi en déblai à flanc de coteau avec une pente de $0^m,012$ par mètre. Il rejoint le lit du Furens au point D (voir Pl. 6, *fig.* 1) après avoir contourné le contre-fort contre lequel s'appuie le grand barrage. Il présente partout $5^m,50$ de largeur au plafond et 3 mètres de profondeur (voir Pl. 6, *fig.* 5), et peut débiter facilement 90 mètres cubes par seconde, débit maximum qui puisse traverser Saint-Étienne sans y occasionner d'inondation. Le plafond du canal se trouve généralement en déblai sur toute sa largeur. Néanmoins sur plusieurs points la berge gauche est formée par un mur en maçonnerie qui a 1 mètre de largeur en couronne et un fruit de 1/10 sur les deux parements. Sur le couronnement de cette berge existe un sentier de $1^m,50$ de largeur qui permet d'aller facilement du grand barrage B au barrage de prise d'eau A. Ce sentier est séparé du réservoir par une banquette de sûreté de $0^m,60$ de hauteur, et il se trouve partout à 1 mètre au minimum en contre-haut du niveau maximum de la retenue, sauf sur une longueur de 20 mètres en C, où la berge du canal s'abaisse pour former le déversoir de superficie.

Un peu en amont du point de débouché G du tunnel supérieur dans le canal, le radier de cet ouvrage présente deux chutes successives, l'une de $1^m,70$, l'autre de $2^m,10$, destinées à laisser une hauteur suffisante entre le plafond du canal et le radier du tunnel.

La dépense du canal de dérivation s'est élevée à la somme de 350,000 francs, savoir :

	francs.
Déblais de terre, 15.000 mètres cubes à $0^f,40$.	6.000
Déblais de rocher, 132.000 à $2^f,20$.	290.400
Maçonnerie ordinaire pour mur de soutènement, 3.100 mètres cubes à $11^f,50$. . . .	35.650
Parement vu de cette maçonnerie, 2.800 mètres carrés à $1^f,40$.	3.920
Total.	335.970
Travaux accessoires, épuisements.	14.030
Total.	350.000

On aurait pu éviter une partie de cette dépense et supprimer la ventellerie de prise d'eau en laissant librement pénétrer dans le réservoir toute l'eau du Furens et en assurant par le tunnel de vidange supérieur un écoulement de 90 mètres cubes par seconde correspondant à celui qui est prévu par le canal de dérivation au moment des grandes crues. Mais cette disposition, qui eût économisé environ 250.000 francs, n'aurait pas permis de détourner du réservoir, au moment des grandes pluies d'été, les eaux troubles qui s'y présentent et peuvent dans certaines circonstances produire un envasement partiel des parties basses de la vallée.

Cette disposition économique a été appliquée au réservoir de la Rive de 2 millions de mètres cubes de capacité dont nous achevons la construction, et qui est destiné à alimenter les fontaines de la ville de Saint-Chamond et à augmenter le débit d'étiage du Gier. Comme la plus stricte économie devait être apportée dans l'exécution de ces travaux, nous n'avons pas prévu de canal de dérivation ni de barrage de prise d'eau. Toute l'eau des crues s'emmagasine dans le réservoir jusqu'au niveau maximum de la retenue fixé à 42 mètres au-dessus du fond; le trop plein s'écoule, à partir de ce niveau, par un déversoir de 30 mètres établi sur le flanc droit de la vallée. L'eau sera donc quelquefois

troublée dans le réservoir de la Rive; pour éviter qu'elle ne soit introduite en cet état dans l'aqueduc des fontaines de Saint-Chamond, le tuyau en fonte de $0^m,40$ qui sert de prise d'eau de fond, au lieu de déboucher directement dans le réservoir, est alimenté par un aqueduc de $1^m,40$ de largeur sur $1^m,30$ de hauteur (voir Pl. 6, *fig.* 26, 28, 29, 30) dont la voûte percée de trous est recouverte d'une couche de pierre et gravier de 2 mètres d'épaisseur, à travers laquelle les eaux filtrent avant d'arriver à la conduite d'alimentation de la ville.

L'envasement partiel du réservoir est néanmoins un fait à prévoir. Aussi pour faciliter l'enlèvement des dépôts qui tendront à se produire, avons-nous projeté la construction d'un barrage de 8 mètres de hauteur en tête du réservoir, de façon à retenir, au moment des crues, la majeure partie des détritus entraînés par les eaux.

45. *Vidange et prise d'eau du réservoir. Tunnel inférieur.* — La vidange et la prise d'eau du réservoir du gouffre d'Enfer s'effectue, comme nous l'avons dit, par un souterrain EH (voir Pl. 6, *fig.* 1) de 185 mètres de longueur, ouvert dans le contre-fort qui sépare le Furens de la vallée secondaire d'Issertine. Ce tunnel débouche dans le réservoir à 8 mètres en contre-haut du fond et présente, dans toute sa longueur, une pente de $0^m,001$ par mètre. Il renferme trois conduites en fonte, dont deux de $0^m,40$ de diamètre placées au même niveau et une de $0^m,216$ à $1^m,80$ en contre-bas (voir Pl. 6, *fig.* 14, 18, 19, 20, 21 et 22).

Ces conduites sont encastrées à leur origine dans un massif en maçonnerie de $11^m,10$ de longueur qui ferme l'entrée du tunnel. Elles débouchent du côté du réservoir dans une chambre en maçonnerie voûtée de 5 mètres de longueur, de 2 mètres de largeur et de $3^m,10$ de hauteur, qui est munie d'une porte grillée en fer dont les vides ont $0^m,27$ de hauteur, sur $0^m,12$ de largeur. En avant de la chambre on a ménagé un puisard de $0^m,50$ de profondeur, 2 mètres

de longueur et 1 mètre de largeur, dans les bajoyers duquel sont pratiquées deux rainures qui permettent d'établir un batardeau à poutrelles pour la visite de la tête amont du tunnel lorsque l'eau dans le réservoir est descendue au niveau des gros tuyaux de service.

Le tunnel est maçonné dans toute sa longueur. Il a 2 mètres de hauteur sous clé sur $1^m,80$ de largeur. La maçonnerie de la voûte et des pieds-droits a $0^m,40$ d'épaisseur, celle du radier $0^m,50$. La voûte est revêtue d'une chape de $0^m,05$ d'épaisseur. Des drainages à pierres sèches conduisent les eaux de suintement dans les barbacanes ménagées de distance en distance dans les pieds-droits.

La petite conduite de fond de $0^m,216$ est posée dans l'axe du tunnel à $0^m,12$ en contre-haut du radier. Elle est comprise entre deux murettes en maçonnerie de ciment de $0^m,10$ d'épaisseur qui supportent un platelage en chêne destiné à assurer le passage dans l'intérieur du tunnel; des drains garnis d'empierrements sont placés à gauche et à droite des murettes, de façon à recueillir et à écouler en dehors du tunnel les suintements de la voûte. Les deux conduites de $0^m,40$ sont placées à $0^m,95$ en contre-haut du radier et supportées par des consoles en fer, espacées de $2^m,50$ d'axe en axe et scellées dans la maçonnerie; des agrafes en fer, également scellées dans la maçonnerie, s'appuient sur le partie supérieure des tuyaux et empêchent toute oscillation.

A leur extrémité (tête aval du tunnel) les grosses conduites sont encastrées dans un massif en maçonnerie de $2^m,10$ d'épaisseur et débouchent chacune, à l'aide de deux coudes obliques, dans un puisard en maçonnerie de $3^m,95$ de longueur, voûté sur $2^m,45$ de largeur et dont le radier se trouve à $1^m,75$ en contre-bas du niveau de sortie de l'eau. Ces puisards amortissent sa vitesse et lui permettent de pénétrer sans bouillonnement dans la chambre de distribution qui leur fait suite.

Cette chambre de distribution est en communication avec le canal HK qui rejoint au point K le lit du Furens, et avec l'aqueduc HLM qui verse ses eaux au point M dans l'aqueduc des fontaines de la ville de Saint-Étienne. Deux vannes en fonte de 1 mètre de largeur et de $0^m,80$ de hauteur sont établies du côté du canal du Furens ; la vanne du côté de l'aqueduc d'alimentation de la ville a $0^m,80$ de largeur. Un déversoir de 2 mètres de longueur, dérasé au niveau des grandes vannes en fonte, est d'ailleurs accolé à ces dernières, de manière à régler le niveau de l'eau dans la chambre de distribution et à éviter qu'un trop grand volume ne s'introduise dans l'aqueduc HLM au moment des emprunts de la ville.

La petite conduite de fond placée dans l'axe du tunnel est établie à son extrémité dans le massif de la pile qui sépare les deux puisards et débouche directement dans le canal HK du Furens, à l'aval de la chambre de distribution. Cette conduite, destinée à enlever les vases qui peuvent s'accumuler dans le réservoir à la tête amont du tunnel de vidange, reste toujours ouverte. Mais comme son débit est insuffisant pour assurer la marche régulière des usines de la vallée, les grosses conduites fournissent le volume supplémentaire en même temps qu'elles donnent à l'aqueduc HLM le volume nécessaire à la ville.

Pour régler le débit et assurer la fermeture des trois conduites du tunnel de vidange, on a placé sur chacune d'elles deux robinets-vannes système Herdevin, placés l'un au fond du tunnel, immédiatement en aval du massif en maçonnerie dans lequel les conduites sont encastrées, l'autre à l'entrée du souterrain.

On accède d'ailleurs dans le tunnel par une chambre d'entrée de $3^m,84$ de profondeur sur 3 mètres de hauteur, fermée par une porte en fer de $1^m,20$ de largeur sur $2^m,60$ de hauteur.

La chambre d'entrée renferme un ventilateur destiné à

renouveler l'air du fond de la galerie, qui, sans cette précaution, deviendrait irrespirable au bout de peu de temps.

Le débit des conduites est réglé ordinairement par les robinets de la chambre d'entrée; les robinets du fond de la galerie sont des robinets de secours destinés à faciliter les réparations.

Pour éviter les inconvénients graves qui pourraient être la conséquence d'une rupture des conduites de $0^m,40$ dans le souterrain au moment où elles sont en charge, on a placé en tête de ces conduites, dans la chambre de prise d'eau, un appareil de sûreté qui peut être manœuvré en tout temps et fermer l'origine de ces conduites. Cet appareil (voir Pl. 6, *fig.* 6, 7, 8 et 9) consiste en une valve en bronze dont les bords, par une rotation de 90°, viennent s'appliquer contre les parois également en bronze du tuyau dans lequel elle tourne. Cette valve est emmanchée sur une tige en fer de $0^m,05$ de diamètre qui suit l'inclinaison du talus et se prolonge en ligne droite jusque sur la tête du tunnel de vidange supérieur. L'extrémité de la tige est munie d'une roue dentée qui engrène avec une vis sans fin dont l'axe prolongé porte deux manivelles (voir Pl. 6, *fig.* 16), de sorte qu'en agissant sur les deux manivelles on peut imprimer à la roue dentée une rotation de 90° et fermer ou ouvrir les valves de sûreté. La tige en fer a une inclinaison de $0^m,70$ par mètre et une longueur de 74 mètres. Elle est posée dans un aqueduc en maçonnerie de ciment de $0^m,15$ de hauteur sur $0^m,15$ de largeur, soutenue de de 5 mètres en 5 mètres par des coussinets en bois encastrés dans la maçonnerie et destinés à supporter le poids de la tige et à l'empêcher de comprimer la valve. Les appareils de manœuvre des tiges sont renfermés, ainsi que le treuil de levage de la vanne du tunnel supérieur, dans une chambre en maçonnerie construite sur la tête du tunnel et fermée par une porte en tôle, de façon à en interdire l'accès au public. Grâce à ces dispositions, la manœuvre des valves

s'effectue sans difficulté; on les laisse toujours ouvertes, mais on a soin de s'assurer une fois par semaine de leur bon fonctionnement.

Dans le réservoir de la Rive dont nous avons déjà parlé, les dispositions du tunnel de vidange que nous venons d'indiquer ont reçu plusieurs modifications. La vidange s'effectue par un souterrain de 60 mètres de longueur percé dans le contre-fort contre lequel s'appuie le barrage, et la prise d'eau est assurée par deux conduites en fonte de $0^{m},40$ de diamètre encastrées à leur origine dans un massif en maçonnerie (voir Pl. 6, *fig.* 27 et 31) ; mais les conduites ne se prolongent pas dans toute la longueur du tunnel; les puisards construits pour le réservoir du Furens à la sortie du tunnel ont été établis à la Rive dans le tunnel même immédiatement après le massif en maçonnerie, de sorte que l'eau coule à air libre dans la galerie, divisée en son milieu en deux compartiments par une murette servant de passage. Le canal de droite reçoit les eaux de la conduite de $0^{m},40$ filtrées par l'aqueduc établi au fond du réservoir, ainsi qu'il a été expliqué plus haut, et alimente les fontaines de Saint-Chamond. Le canal de gauche reçoit les eaux de la conduite de $0^{m},40$, qui communique directement avec le réservoir et alimente les usines. Chacune des conduites est munie d'un robinet-vanne Herdevin et d'un appareil de fermeture à valve analogue à celui qui a été employé au Furens et qui est destiné à permettre la réparation du robinet Herdevin situé en aval.

Cette disposition a dispensé d'établir, comme dans le réservoir du Furens, un appareil de sûreté se manœuvrant à un niveau supérieur à la retenue, car la rupture de la petite portion des conduites situées dans la chambre des robinets en deçà du massif qui ferme la tête du tunnel est peu probable, et, dans tous les cas, si cet accident arrivait, le tunnel écoulerait facilement l'eau qui affluerait par la conduite brisée. On aurait toujours la possibilité de

pénétrer jusqu'à la valve de sûreté qui arrêterait la fuite et permettrait la réparation de l'avarie.

Le tunnel de vidange du réservoir du Furens est ouvert sur 50 mètres de longueur, du côté du réservoir, dans une roche granitique compacte; dans le surplus du parcours, le terrain rencontré a été un schiste ébouleux qui a nécessité des blindages dispendieux.

La maçonnerie a été exécutée avec moellons ordinaires et chaux hydraulique du Theil et sable granitique de Planfoy. La pierre de taille est du granit de Moingt (arrondissement de Montbrison). Les enduits de la chambre de prise d'eau et des puisards sont en ciment de Vassy avec sable de la Loire.

Des précautions spéciales ont été prises pour la pose des conduites dans la longueur correspondante à la partie encastrée. L'épaisseur de la fonte a été renforcée de $0^m,01$, et les tuyaux sont à brides au lieu d'être à emboîtement et cordon comme dans le reste de la galerie. La maçonnerie du massif en tête du tunnel a été également l'objet de soins tout particuliers, afin d'éviter les filtrations. La surface des tuyaux et des parties lisses des rochers a été rocaillée à l'aide d'un mortier de ciment de Vassy, dans lequel on implantait de petites pierres en saillie. Le massif a été ensuite maçonné avec un mortier de chaux hydraulique un peu sec, dans lequel les pierres étaient refoulées au marteau. En outre, un enduit en ciment de $0^m,030$ d'épaisseur a été appliqué sur toute la surface de la chambre de prise d'eau. Grâce aux mesures prises, aucune filtration, lors de la mise en eau du réservoir, ne s'est manifestée à l'aval du massif de l'origine du tunnel.

La dépense des travaux du tunnel s'est élevée au chiffre de 102.000 francs, savoir :

1° *Maçonnerie.*

	francs.
Déblais dans le rocher à ciel ouvert pour les deux têtes du souterrain, les puisards et la chambre de distribution, 730 mètres cubes à 2f,80.	2.044
Déblais en galerie, 1.220 mètres cubes à 27 francs.	32.940
Maçonnerie ordinaire pour la tête amont et la tête aval du tunnel, 230 mètres cubes à 11f,50.	2.645
Maçonnerie ordinaire sous galerie pour la construction du tunnel et le massif à l'origine, 630 mètres cubes à 18 fr. . . .	11.340
Maçonnerie de pierre de taille de granit, 20 mètres cubes à 145 francs, y compris la taille.	2.900
Enduits en ciment, 200 mètres carrés à 3 francs.	600
Chape en mortier, 700 mètres carrés à 1f,50.	1.050
Bois pour cintres et blindages, 80 mètres cubes à 60 francs.	4.800
Total.	58.319

2° *Conduites en fonte et appareils de manœuvre.*

	francs.
Conduites de 0m,40 de diamètre, 350 mètres linéaires à 44 francs.	15.400
Conduites de 0m,216, 210 mètres à 24 fr. . .	5.040
Robinets de 0m,40 posés, quatre à 880 fr. pièce.	3.520
Robinets de 0m,216 posés, deux à 430 fr. l'un.	860
Fonte pour consoles et écrous, 5.000 kilogrammes à 0f,30.	1.500
Fer pour agrafes, 566 kilogrammes à 1 fr. .	566
Valves de sûreté à l'origine des tuyaux de manœuvre, y compris les tuyaux coudés; deux à 1.500 francs l'une.	3.100
Tiges en fer, 2.500 kilog. à 0f,50.	1.250
A reporter.	31.236

	francs.
Report.	31.236
Appareils de manœuvre placés au-dessus du niveau de la retenue maxima, deux à 320 francs l'un.	640
Grille en fer de la chambre de prise d'eau, 460 kilogrammes à 1f,50.	690
Platelage en chêne dans l'intérieur du tunnel, ventilateurs et drainages.	3.000
Vannes en fonte destinées à l'alimentation des usines et vannes en bronze destinées à l'alimentation de l'aqueduc de la ville. .	850
Porte en fer du tunnel, 300 kilog. à 0f,90. .	270
Total.	36.680
Total des maçonneries.	58.319
Total général.	94.999
Ouvrages accessoires, épuisements.	7.001
Total égal.	102.000

46. *Tunnel de décharge supérieur*.—Le tunnel supérieur FG (voir Pl. 6, *fig.* 1) est percé dans la même direction que le tunnel inférieur à 44m,50 en contre-haut du fond du réservoir et à 5m,50 en contre-bas du niveau maximum de la retenue fixée à la cote (783,825), il met en communication le réservoir avec le canal de dérivation, dont le plafond se trouve en son point de débouché à 4 mètres en contre-bas de son radier. Ce tunnel (voir Pl. 6, *fig.* 15, 16 et 17) est ouvert dans le rocher sur toute sa longueur qui est de 65 mètres. Sa section a 1m,95 de hauteur sur 1m,50 de largeur. Il est maçonné sur 3 mètres de longueur à son origine et à son extrémité. Il est fermé en tête par une vanne en tôle de 1m,50 de largeur sur 2 mètres de hauteur conforme au type adopté pour la ventellerie de prise d'eau. Le treuil de manœuvre est établi dans la chambre qui contient les appareils de rotation des valves de sûreté. Au moment des crues, cette vanne est baissée de façon à permettre l'emmagasinement dans le réservoir de la

partie de la crue dommageable à la ville de Saint-Étienne; dès que la crue est passée, la vanne est manœuvrée de façon à laisser écouler par le tunnel le volume retenu et à rendre la tranche supérieure de $5^m,50$ dans le réservoir disponible pour une nouvelle crue. Les maçonneries du tunnel supérieur ont été exécutées avec les mêmes matériaux que celles du tunnel inférieur. La dépense s'est élevée à la somme de 18.000 francs, savoir :

	francs.
Déblais à ciel ouvert pour les deux têtes, 900 mètres cubes a $2^f,80$.	2.520
Déblais en galerie, 250 mètres cubes à 27 fr. .	6.750
Maçonnerie ordinaire des deux têtes, 220 mètres cubes à $11^f,50$.	2.530
Parement vu de cette maçonnerie, 310 mètres carrés à $1^f,40$.	434
Maçonnerie en galerie, 10 mètres cubes à 18 francs.	180
Maçonnerie de pierre de taille de grès, 15 mètres cubes à 70 francs.	1.050
Parement vu de cette maçonnerie, 60 mètres carrés à 8 francs.	480
Vanne en tôle et treuil de levage, 2.150 kilogrammes à $0^f,80$.	1.720
Chambre au-dessus de la tête du tunnel pour les manœuvres, y compris la porte en fer. .	1.100
Total.	16.760
Ouvrages accessoires, travaux en régie. . .	1.240
Total égal	18.000

47. *Massif du barrage.*—Le barrage qui ferme la vallée et crée le réservoir dont nous venons d'indiquer le but et le régime hydraulique a 52 mètres de hauteur au-dessus du fond du côté d'amont et 56 mètres du côté d'aval. (Voir Pl. 5, *fig.* 10, 11, 12 et 13.) La hauteur maxima de la retenue est fixée à 50 mètres au-dessus du fond, et comme une tranche de $5^m,50$ de hauteur doit toujours rester libre pour l'emmagasinement des crues, le niveau de la retenue

permanente des eaux pour le service des usines et de la ville de Saint-Étienne se trouve à $44^m,50$ au-dessus du fond, soit à la cote (778,32).

Profil transversal. — Le barrage est entièrement en maçonnerie. Son profil transversal (Pl. 5, *fig.* 14) est formé à l'amont et à l'aval par des arcs de cercle tangents ou des lignes droites. Il présente à l'amont deux retraites de $1^m,25$, l'une à 2 mètres au-dessus du fond de la vallée, l'autre à 5 mètres au-dessus de ce même niveau et une troisième retraite de $2^m,465$ à 47 mètres en contre-haut du fond, soit à $2^m,50$ au-dessus du niveau de la retenue permanente de la ville de Saint-Étienne. Le parement d'aval ne présente qu'une retraite de $4^m,30$ à 47 mètres en contre-bas de la chaussée du barrage. A $0^m,90$ au-dessus de cette retraite, l'épaisseur du barrage est de $33^m,70$.

Le mur de garde qui termine le massif a 5 mètres de hauteur, $3^m,75$ de largeur à la base et 3 mètres d'épaisseur au sommet qui est fixé à 2 mètres en contre-haut du niveau de la retenue maxima.

Ce profil, qui a été déjà indiqué aux lecteurs des *Annales* par M. Graeff, inspecteur général, dans son mémoire sur la forme des grands barrages, diffère peu du profil d'égale résistance calculé par M. l'ingénieur Delocre. (Voir les *Annales*, année 1866, 2e semestre.)

Il a été projeté de façon que la pression maxima soit à peu près constante sur tous les points du massif et n'excède nulle part $6^k,50$ par centimètre carré.

Détermination des pressions. — Stabilité du massif. — Nous avons employé pour la détermination des pressions la méthode graphique indiquée dans son *Cours de navigation intérieure à l'École des ponts et chaussées*, par M. l'inspecteur général Mary. Cette méthode consiste, le profil transversal d'un mur étant donné, à considérer la portion du massif comprise entre deux plans verticaux distants de 1 mètre, et à rechercher les conditions de stabi-

lité de ce massif indépendamment de toute liaison latérale.

A cet effet on divise le massif en un certain nombre de tranches par des sections horizontales, et l'on détermine la résultante des forces qui agissent sur chacune d'elles dans les deux hypothèses où le réservoir est plein et où le réservoir est vide. Dans le premier cas la pression maxima s'exerce sur les arêtes du parement aval et dans le deuxième sur les arêtes du parement amont. Leur examen comparatif permet bien vite, après quelques tâtonnements, de modifier le profil amont et le profil aval de façon que les pressions dans les deux cas se rapprochent suffisamment du maximum qu'on s'est donné.

La recherche graphique des pressions maxima, dans le cas du barrage du gouffre d'Enfer, est indiquée Pl. 6, *fig.* 10.

Le massif considéré a été divisé en huit prismes par les plans horizontaux c_1e_1, c_2e_2, ... et l'on a déterminé ainsi qu'il est expliqué plus loin la courbe des pressions $S_1S_2S_3$,..... lorsque le réservoir est plein, et la courbe des pressions $u_1u_2u_3$..... lorque le réservoir est vide.

Lorsque le réservoir est plein, les forces qui agissent sur la section c_1e_1 sont le poids P_1 du prisme $abde_1$ situé au-dessus de la section c_1e_1, et la poussée de l'eau Q_1 sur la surface *hd*.

Le poids P_1 du prisme passe par le centre de gravité G_1 de la surface $abde_1$, et est égal en admettant que le poids du mètre cube de maçonnerie soit de 2.000 kilogrammes, à surface $abde_1 \times 2.000^k = 34^t,91$.

La poussée de l'eau Q_1 est normale à *hd*, passe par le centre de gravité du triangle rectangle *fdh*, dont le côté *fd* de l'angle droit est égal à la distance verticale du point *d* au niveau supérieur de la retenue et a pour valeur la surface de ce triangle multipliée par le poids de l'eau, soit $\frac{dh \times 3^m}{2} \times 1.000^k = 4^t,5$. Les deux forces P_1 et Q_1 don-

nent une résultante R_1 égale à $35^t,50$ qui coupe la ligne c_1e_1 au point S_1 à $1^m,95$ de l'arête e_1.

De même si nous considérons le prisme $c_1e_1c_2e_2$ et que nous voulions déterminer la résultante des pressions agissant sur la base c_2e_2, les forces à composer entre elles sont la résultante R_1 précédemment déterminée, le poids P_2 du prisme $c_1e_1c_2e_2$ appliqué au centre de gravité G_2 de la section, et qui est égal à $105^t,45$, la poussée de l'eau Q_2 sur la surface c_1c_2 passant par le centre de gravité O du trapèze c_1c_2kl dans lequel les deux bases kc_1 et lc_2 perpendiculaires à c_1c_2 sont respectivement égales aux distances verticales des points c_1 et c_2 au-dessous du niveau de la retenue, et P'_1 qui est le poids de l'eau sur la surface c_1d.

Les deux dernières forces Q_2 et P'_1 composées ensemble donnent une résultante Q'_2 égale à $46^t,40$.

La force Q'_2, composée à son tour avec le poids P_2, donne une résultante R_2, laquelle, composée avec la résultante R_1, donne la résultante S_2 des forces qui agissent sur la section c_2e_2. Cette résultante S_2 est égale à 158 tonnes, et coupe la ligne c_2e_2 au point S_2 distant de l'arête e_2 de $3^m,50$.

Continuant les mêmes opérations graphiques sur le prisme $c_2e_2c_3e_3$, nous avons à composer le poids du prisme P_3 avec la poussée de l'eau Q_3 qui s'exerce sur la surface c_2c_3, ce qui donne la résultante R_3, laquelle, composée avec la résultante S_2, donne la résultante générale S_3 des forces qui agissent sur la section c_3e_3. Cette force S_3 est égale à 332 tonnes et coupe la ligne c_3e_3 au point S_3 distant de $4^m,45$ de l'arête e_3. On obtient de même les résultantes S_4, S_5,... S_8 des forces qui agissent sur les sections c_4e_4, c_5e_5,... c_8e_8.

Leurs valeurs sont les suivantes :

$S_4 = 533$ tonnes, $S_5 = 941$ tonnes, $S_6 = 1.435$ tonnes,

$S_7 = 2.195$ tonnes, $S_8 = 2.740$ tonnes.

Les distances des points d'application de ces forces à l'arête extérieure du parement sont d'ailleurs :

$$c_4e_4 = 5^{m},85, \quad c_5e_5 = 8^{m},30, \quad c_6e_6 = 12^{m},10, \quad c_7e_7 = 18^{m},00,$$
$$c_8e_8 = 22^{m},60.$$

Joignant ensuite les points S_1, S_2, S_3,... S_8, on a la courbe des pressions du massif lorsque le réservoir est plein.

On déduit de là les pressions maxima exercées dans les diverses sections c_1e_1, c_2e_2,... c_8e_8.

On sait d'après la loi de la répartition de pressions sur la base rectangulaire d'un prisme soumis à un effort perpendiculaire à sa base, que la pression maxima a lieu sur l'arête du prisme la plus rapprochée de la résultante, et qu'elle est donnée par l'une des formules :

$$(1) \qquad p = \frac{T}{\Omega}(1 + 3n) \text{ applicable si } n < \frac{1}{3},$$

$$(2) \qquad p = \frac{T}{\Omega} \times \frac{4}{3(1-n)} \text{ applicable si } n > \frac{1}{3},$$

dans laquelle T est la composante normale de la pression sur la base, Ω est la section de cette base $n = \frac{a}{l}$, a étant la distance comprise entre le centre du rectangle de base et le point d'application de la résultante, et l étant la demi-longueur du rectangle de base, soit dans le cas actuel la demi-épaisseur du barrage au point que l'on considère.

L'épure donne toutes ces longueurs. Dans la section c_1e_1, $\Omega = 39.600$ centimètres carrés, $l = 1^{m},98$, $a = 1,98 - 1,95 = 0,03$, T_1, composante verticale de R_1, égale $35^{t},30$, d'où l'on déduit par la formule (1) :

$$p_1 = \frac{35.300^{\text{kilog}}}{3,9600}\left(1 + 3 \times \frac{0,03}{1,98}\right) = 0^{k},93 \text{ par centim. carré.}$$

Dans la section c_2e_2, $\Omega = 85.900$ centimètres carrés, $l = 4,095$, $a = 4,095 - 3,50 = 0,595$, et T_2, composante

verticale de la pression S_2, égale 150 tonnes, d'où l'on déduit par la formule :

$$(1) \qquad p_2 = \frac{150.000^{\text{kilog}}}{8,1900}\left(1 + 3 \times \frac{0.595}{4.095}\right) = 2^{\text{k}},71.$$

On trouve de même

$$p_3 = 4^{\text{k}}.41, \quad p_4 = 5^{\text{k}},50, \quad p_5 = 6^{\text{k}},34, \quad p_6 = 6^{\text{k}},49,$$
$$p_7 = 6^{\text{k}},48 \quad \text{et} \quad p_8 = 6^{\text{k}},16.$$

Il suit de là qu'avec le profil considéré lorsque le réservoir est plein, la pression maxima dans le massif reste à peu près constante à partir de 17 mètres au-dessous de la retenue, et n'excède nulle part $6^{\text{k}},50$ par centimètre carré, limite notablement inférieure à celle qui pouvait être admise avec le genre de maçonnerie exécutée et avec la nature des fondations qui ont été établies sur un rocher granitique compacte.

Dans la partie haute et jusqu'à 17 mètres de hauteur, la pression maxima varie entre $0^{\text{k}},93$ et $4^{\text{k}},41$ par centimètre carré ; elle reste par conséquent notablement en dessous de la pression maxima admise pour le reste du massif. Pour la rapprocher de cette limite, il aurait fallu diminuer l'épaisseur du barrage au sommet dans des proportions telles qu'on aurait eu alors à redouter l'action des vagues et la pression des glaces en hiver contre un couronnement de 100 mètres de longueur qui n'aurait pas présenté une épaisseur suffisante. On a pensé, en raison de cette considération, que le mur de garde devait avoir une épaisseur minima de 3 mètres, et le massif proprement dit du barrage une épaisseur de 6 mètres au niveau moyen de la retenue.

Lorsque le réservoir est vide, la résultante des pressions sur chacune des sections c_1e_1, c_2e_2,..... c_8e_8 s'obtient en composant entre eux les poids des tranches dans lesquelles le massif est décomposé.

Le poids P_1 du prisme $dabe_1$ qui est égal à $34^t,91$ coupe de_1 en u_1 à une distance de $1^m,88$ de l'arête intérieure d. Composant le poids P_1 avec le poids P_2 du prisme $c_1e_1c_2e_2$, on obtient la résultante U_2 qui est égale à $140^t,37$, et coupe la section c_2e_2 au point u_2 à $8^m,69$ de l'arête c_2.

Continuant ainsi, on obtient successivement les résultantes U_3, U_4,... U_8, et en joignant les points u_1, u_2, u_3,... u_8, on a la courbe des pressions du massif lorsque le réservoir est vide.

Appliquant aux résultats donnés par l'épure les formules indiquées ci-dessus pour la détermination des pressions maxima et appelant q_1, q_2,... q_8 ces pressions, on trouve successivement :

$$q_1 = 1^k,02, \quad q_2 = 1^k,84, \quad q_3 = 3^k,51, \quad q_4 = 4^k,98,$$
$$q_5 = 5^k,89, \quad q_6 = 6^k,22, \quad q_7 = 6^k,67, \quad q_8 = 6^k,45.$$

Ces pressions ne dépassent pas notablement $6^k,50$, et sont à peu près uniformes à partir de la section c_4e_4 faite dans le massif à 21 mètres en contre-bas de la retraite supérieure.

Pour que la stabilité du massif soit complète, il ne suffit pas que la pression maxima ne dépasse en aucun de ses points la pression-limite qu'on s'est imposée et que recommande la pratique, il faut encore s'assurer que le glissement des assises les unes sur les autres ou de toute la construction sur le sol de la fondation est impossible. L'épure de la stabilité permet de vérifier très-facilement si cette condition est remplie. Si l'on néglige la force de cohésion des mortiers, ce qui revient à se placer dans des conditions défavorables, il suffit de voir pour chaque assise si l'angle formé avec la verticale par les résultantes S_1, S_2,... S_8 est plus petit que l'angle du frottement des maçonneries qui est égal à $37° 14'$; or l'angle maximum mesuré sur l'épure est celui que forme la résultante S_5 sur la cinquième assise et il est égal à $31° 13'$. Tout mouvement

de glissement d'une assise sur l'autre est donc impossible et la stabilité du massif est assurée.

Tracé du barrage. — En plan (voir Pl. 5, *fig.* 13), le barrage est courbe et tourne sa convexité du côté de l'eau. L'axe de la chaussée supérieure est un arc de cercle de $252^m,50$ de rayon ayant 100 mètres de corde et 5 mètres de flèche. Le massif est un solide de révolution, décrit par la rotation du profil en travers que nous avons décrit autour d'un axe vertical passant par le centre de l'arc de cercle indiqué ci-dessus. De sorte que si l'on coupe le barrage par un plan horizontal quelconque, on obtient une section qui est limitée en amont et en aval par deux arcs de cercle dont les rayons sont par là même déterminés, et dont le centre se trouve au point d'intersection du plan avec l'axe vertical de rotation du solide de révolution.

Pour tracer l'ouvrage, nous avons dû tout d'abord arrêter d'une manière définitive la position de la corde de l'arc du milieu du couronnement du barrage. Nous avons procédé à cette détermination en suivant les données du projet de façon que le massif en maçonnerie fût bien encastré dans les deux caps en rochers qui rétrécissent sur ce point la vallée. Cette ligne AB (voir Pl. 6, *fig.* 11) a été repérée à ses deux extrémités sur le terrain par deux barres de fer AB encastrées sur l'une et l'autre rive à la cote prévue pour le couronnement du barrage 785.825. Ces repères étaient distants de 100 mètres. A l'aide du théodolite, nous avons tracé un plan vertical passant par cette ligne, et nous avons marqué les points a_1, a_2, a_3... b_1, b_2, b_3... d'intersection de ce plan avec les rochers de l'une et l'autre rive. Nous avons ensuite sur cette trace déterminé le point *c* situé à égale distance des points A et B, et par ce point nous avons élevé une perpendiculaire OH sur l'axe AB sur laquelle nous avons marqué par une balise le centre O de rotation du solide de révolution. Ce point est

à $252^m,50$ — 5 mètres, soit à $247^m,50$ de distance du point C, et les lignes AO et BO font des angles de 78° 34′ 30″ avec l'axe AB.

Pose des règles et gabarits. — Lorsque nous avons eu la certitude que les deux axes AB et OH étaient bien rectangulaires l'un sur l'autre, le tracé du barrage et la pose des gabarits de la maçonnerie s'est effectué sans difficulté par le procédé que nous allons indiquer.

Supposons, pour fixer les idées, le massif arrivé à la cote moyenne 752.825 et proposons-nous de placer les gabarits nécessaires pour guider les maçons dans leur travail ultérieur.

Les traces du plan d'axe AB sont déterminées sur les rochers. Nous prenons sur ces traces deux points a_3 et b_3 à la cote 752.825 (voir Pl. 6, *fig.* 11 et 12); nous tendons un fil de a_3 à b_3, et nous déterminons le point c d'intersection de ce fil avec l'axe OH. Ce point c. d'après le profil en travers adopté pour le barrage, est distant du parement amont de $10^m,138$ et du parement aval de $12^m,358$. En prenant ces longueurs sur la ligne OH, à partir du point c, nous obtenons ainsi un point q sur le parement amont et un point n sur le parement aval.

Pour en avoir d'autres sur le parement aval, nous remarquons que l'arc NN′ qui limite ce parement a, d'après le profil en travers de l'ouvrage, $247^m,50 - 12^m,358 = 235^m,142$ de rayon on déduit alors les ordonnées de cet arc par rapport à la ligne d'axe a_3b_3.

Pour simplifier les opérations on était d'ailleurs conduit, au lieu d'élever les perpendiculaires sur la ligne d'axe a_3b_3, à tracer une ligne parallèle FG plus rapprochée que a_3b_3 du parement; c'était sur cette ligne qu'on prenait les abscisses mm_1, mm_2, et qu'on élevait ensuite les ordonnées m_1n_1, m_2n_2. La pose des gabarits ne présentait ensuite aucune difficulté.

S'agit il, par exemple, de placer le gabarit du point n_1

(voir Pl. 7, *fig.* 24), on élève sur la ligne auxiliaire FG et dans le plan 752.825 une perpendiculaire m_1n_1 égale à l'ordonnée calculée. On a ainsi un point n_1 du gabarit. On détermine de même un autre point n'_1 du gabarit à 1^m,50 plus haut, en prenant $m'_1n'_1$ égale à l'ordonnée correspondante à la courbe horizontale (754.325).

Deux points sont ainsi déterminés pour le gabarit xy, découpé suivant le profil du mur et dirigé dans le plan vertical passant par l'axe de rotation ; sa position est dès lors fixée.

On suivait la même marche pour le parement d'amont, et l'on opérait avec la ligne auxiliaire DE comme on avait opéré avec la ligne auxiliaire FG.

Les gabarits étaient fixés dans la maçonnerie déjà exécutée à l'aide de deux crampons en fer. On les inclinait plus ou moins, de manière à les amener à leur position exacte au moyen de coins en bois ; ils avaient 2^m,50 de hauteur moyenne et étaient revérifiés fréquemment après leur pose.

Les plus grandes précautions étaient prises pour tracer les parallèles auxiliaires DE et FG ; on les obtenait en élevant, à l'aide d'une grande équerre en bois, des perpendiculaires sur la ligne AB et en prenant des longueurs égales sur ces perpendiculaires. On recommençait l'opération jusqu'à ce que les extrémités de toutes ces lignes fussent exactement en ligne droite. On se servait également d'équerre pour élever les ordonnées des arcs sur les lignes auxiliaires.

Les rayons de tous les arcs d'amont et d'aval étaient calculés d'avance et indiqués de mètre en mètre sur le profil en travers du barrage.

Les ordonnées des arcs d'amont étaient également calculés d'avance par rapport à des abscisses distantes de 2 mètres en 2 mètres, à partir de l'axe et prises sur une corde dont on se donnait la flèche. Les ordonnées des arcs d'aval étaient calculées de la même manière par rapport à

des abscisses distantes aussi de 2 mètres et prises sur la tangente. Lorsque par suite de la disposition du chantier la ligne auxiliaire CD ne coïncidait pas avec la corde choisie ou la ligne auxiliaire EF avec la tangente, l'opérateur en était quitte pour ajouter aux ordonnées ou retrancher de ces mêmes ordonnées une quantité constante connue.

Pour commencer la maçonnerie du parement aval du barrage au-dessus de la retraite d'aval qui a été établie à la cote (737.925) et qui présente $4^m,30$ de largeur, il a été impossible de fixer les gabarits avec des crampons dans la maçonnerie déjà faite. Ces gabarits ont été assujettis à l'aide de potences (voir Pl. 6, *fig.* 25) qui étaient fixées par leur pied, on déterminait sur chacun de leurs bras horizontaux, distants de $1^m,50$, deux points du profil en travers n et n'_1, et l'on assujettissait les gabarits de manière à les faire passer par les deux points; on pouvait alors commencer la maçonnerie; bientôt les potences, devenues désormais inutiles, étaient enlevées, et le travail était continué à l'aide de gabarits fixés par des crampons, ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

Cette méthode, appliquée depuis les fondations du barrage jusqu'à son couronnement, a donné d'excellents résultats, et nous a permis d'exécuter les parements courbes du massif sans aucune erreur.

Nature de la maçonnerie du barrage. — Tout le barrage est en maçonnerie ordinaire, les parements sont exécutés avec des moellons de choix de $0^m,35$ à $0^m,40$ de queue, posés à joints incertains. Sur le parement aval, on a placé neuf rangs de corbeaux en pierre de taille disposés en quinconce et espacés de $4^m,60$ d'axe en axe. Les corbeaux, qui ont $0^m,80$ de longueur sur $0^m,35$ de largeur et de hauteur, sont en saillie de $0^m,40$ par leur face supérieure sur le parement du barrage. Ils produisent un effet architectural assez satisfaisant. Sur le parement amont, entre la risberme supérieure et la retraite inférieure, on a placé

treize lignes d'anneaux en fer espacés de 4 mètres destinés à faciliter l'amarrage des bateaux et des échafaudages pour le rejointoiement des maçonneries.

La pierre de taille a été exclusivement réservée pour l'arête d'amont du barrage et pour le couronnement du mur de garde qui termine l'ouvrage.

Couronnement du barrage. — Le couronnement aval du barrage (voir Pl. 5, *fig.* 10, 11, 12) consiste en une suite d'arcades en saillie sur le parement du barrage et soutenues par des culs-de-lampe. Les arcades sont en plein cintre et ont $1^{m},50$ de diamètre; l'épaisseur du bandeau est de $0^{m},30$; la pierre de la clé a $0^{m},45$ et supporte directement la plinthe du couronnement. Les tympans entre les bandeaux en pierre de taille sont en maçonnerie ordinaire à joints de hasard. Les voûtes sont supportées par des culs-de-lampe de $1^{m},20$ de hauteur, formés d'une plinthe de $0^{m},80$ de largeur et de quatre pierres dont les trois premières sont en retraite les unes sur les autres de $0^{m},10$, $0^{m},09$ et $0^{m},08$, et dont la dernière, en saillie de $0^{m},08$ sur celle qui la précède, se termine en pointe sur le parement. Les arcades sont surmontées d'une plinthe de $0^{m}40$, de hauteur formant trottoir intérieurement, et supportant un parapet en pierre de taille de $0^{m},90$ de hauteur.

Le couronnement d'amont est traité plus simplement; il consiste en une plinthe de $0^{m},40$ d'épaisseur faisant trottoir intérieurement comme celle du parement aval et en saillie de $0^{m},38$ sur le parement du mur de garde. Cette plinthe est soutenue par des modillons de $0^{m},40$ d'épaisseur et de $0^{m},45$ de hauteur, espacés de $1^{m},40$ d'axe en axe et en saillie de $0^{m},20$ sur le parement du mur.

Le parapet d'amont est semblable au parapet d'aval. Il est formé sur toute sa hauteur d'une seule pierre présentant un soubassement de $0^{m},30$ et un couronnement de $0^{m},24$ en saillie de $0^{m},03$ l'un et l'autre sur le corps du parapet qui n'a que $0^{m},35$ d'épaisseur. Les parapets sont

terminés des deux côtés du barrage par deux dés de 1^{m},20 de longueur couronnés en pointe de diamant.

Les parapets laissent entre eux un passage de 2^{m},92 qui comprend deux trottoirs de 0^{m},44 chacun et une chaussée en pavés maçonnés de 2^{m},04 de largeur.

Cette chaussée se raccorde aux deux extrémités du barrage avec le chemin de Rochetaillée à Planfoy, qui permet la visite facile des travaux. Un sentier, coupé de distance en distance par des escaliers, est établi sur la rive droite de la vallée entre la partie supérieure du barrage et la plate-forme d'aval. Deux escaliers donnent également accès de cette plate-forme dans le bas de la vallée qui peut être parcourue dans toute sa longueur. De sorte que la visite des travaux peut s'effectuer, soit en arrivant par le pied du barrage et en remontant l'escalier jusqu'au couronnement, soit en arrivant par le haut par le chemin de Planfoy et en descendant l'escalier jusqu'au bas de la vallée. Le coup d'œil est, dans l'un comme dans l'autre cas, très-pittoresque.

48. *Mode d'exécution des travaux.* — L'exécution de la maçonnerie du grand barrage qui cube 40.000 mètres cubes a nécessité une organisation spéciale du chantier et des précautions particulières que nous croyons utile d'indiquer.

Travaux préliminaires. — Afin de faciliter les fouilles et les travaux de fondation du barrage, on a dû tout d'abord ouvrir le canal de dérivation ACD (voir Pl. 6, *fig.* 1), les tunnels de vidange supérieur et inférieur FG et EH, et construire la ventellerie de prise d'eau A. Ces travaux, commencés en 1859, ont été terminés en 1861. Ils ont permis de dériver dans le canal les crues du Furens et de faire passer dans le tunnel de vidange inférieur, à l'aide d'un batardeau en béton établi en tête de cet ouvrage, au travers de la vallée, les suintements qui auraient pu gêner les fouilles du grand barrage.

Fouilles. — Ces fouilles ont été faites dans le fond de la

vallée et sur les deux versants avec un soin tout particulier. La nature du rocher rencontré était un granit compacte, mais coupé çà et là par des fissures. Toutes les parties tendres ou non adhérentes du rocher ont été enlevées sur toute la surface qui devait être en contact avec la maçonnerie, et le long des parements amont et aval la fouille a été approfondie sur 1 mètre environ, de façon que l'encastrement du massif fût aussi complet que possible. Dans le fond, le déblai du rocher a d'ailleurs été conduit de façon à ménager une série de gradins présentant une bonne assiette aux maçonneries et empêchant tout glissement. Il se présentait d'ailleurs une circonstance favorable à l'encastrement du massif entre les deux épaulements de rochers contre lesquels le barrage s'appuie. Le barrage est établi en effet en un point où la vallée présente un étranglement naturel qui se trouve compris entre les parements amont et aval de l'ouvrage. Ces deux promontoires qui s'avancent dans la vallée assurent l'encastrement du massif entre les deux rives dans des conditions de stabilité exceptionnelles.

Mode d'exécution des maçonneries. — Les fouilles ont pu être terminées et réglées à la fin de 1861, et les maçonneries ont été commencées en 1862. On les a exécutées par assises horizontales de $1^m,50$ de hauteur, s'étendent sur toute la surface du massif afin d'éviter des tassements inégaux et des déchirures possibles. Ce mode de construction était facile, attendu que, grâce au canal de dérivation et à l'ouverture du tunnel de vidange inférieur, le lit du Furens était complétement à sec à l'emplacement des travaux.

Les moellons employés variaient de 1/5 à 1/20 de mètre cube; ils étaient posés sur bain soufflant de mortier, bien assujettis au marteau les uns contre les autres et calés dans tous les sens à l'aide de petites pierres mises constamment à la disposition de chaque maçon et qu'on en-

fonçait dans les joints. Un moellon n'était abandonné que lorsqu'il ne remuait plus sous le pied. Les maçons travaillaient tous à la même assise qu'ils élevaient de toute sa hauteur sur $1^{m},50$; ils avaient soin de placer vers la partie supérieure des pierres de champ ou bornes, qui étaient solidement encastrées par le pied dans le massif et présentaient des saillies de $0^{m},30$ à $0^{m},40$ de hauteur, destinées à assurer la liaison de l'assise exécutée avec l'assise suivante.

Lorsqu'une assise était terminée et qu'on en recommençait une autre, on nettoyait profondément les joints des pierres, on enlevait toutes les parties de mortier non adhérentes, on lavait avec soin la surface ; chaque maçon préparait ainsi 2 ou 3 mètres carrés de surface, et c'était sur cette surface fraîchement lavée et toujours vérifiée avec soin par les surveillants qu'il établissait sa maçonnerie.

Maçonnerie des parements. — La maçonnerie des parements était exécutée à joints de hasard avec des moellons de choix préparés et triés à l'avance dans les carrières. Ces moellons avaient une queue de $0^{m},30$ à $0^{m},50$. Ils étaient retouchés au marteau, de façon que les angles saillants pénètrent bien dans les angles rentrants sans laisser de joints de plus de $0^{m},02$ à $0^{m},03$ d'épaisseur. Ils étaient bien calés en queue et appuyés contre un massif de maçonnerie de 1 mètre à $1^{m},50$ d'épaisseur. Les mêmes ouvriers travaillaient constamment aux parements et l'on s'arrangeait de façon que, lorsqu'une assise était terminée, les parements fussent élevés sur $1^{m},50$ de hauteur à l'amont et à l'aval du barrage sur la moitié au moins de la surface. Grâce à cette précaution, la maçonnerie de l'assise en construction se trouvait comprise entre deux massifs déjà élevés à l'amont et à l'aval à la hauteur qu'on se proposait de lui donner, et les maçons des parements n'étaient jamais gênés par les ouvriers occupés sur le centre de l'ouvrage.

Liaison de la maçonnerie avec les parois du rocher. — Des

précautions spéciales ont été prises pour relier la maçonnerie avec le rocher du fond et des côtés de la vallée. Partout où le rocher était fissuré on a ouvert les fissures et on les a remplies avec un mortier de ciment de Vassy composé d'un volume de ciment pour un volume de sable de la Loire, bien pur et bien lavé. En outre, on a recouvert la surface d'un enduit en ciment de $0^m,03$ à $0^m,05$ d'épaisseur dans lequel on implantait des pierres en saillie, de façon à former une surface factice rocailleuse contre laquelle la maçonnerie ordinaire pouvait adhérer. La même précaution a été prise sur toutes les surfaces unies du rocher ou présentant des délits à forte inclinaison. Dans les parties qui offraient souvent une étendue assez considérable où le rocher était bien compacte, on se contentait de créer des aspérités à l'aide de pétards peu profonds, et lorsque les aspérités n'étaient pas suffisantes, on implantait sur la surface, de distance en distance, des pierres saillantes collées à leur base sur le parement du rocher à l'aide d'un petit massif en mortier de ciment.

Recherche des fissures pour éviter les fuites. — Ces précautions étaient indispensables pour assurer une liaison complète entre le massif du barrage et les parois de la fouille. Mais elles ne suffisaient pas pour empêcher la filtration des eaux à travers les fissures de la roche. Pour remédier à cet inconvénient, on a dû mettre à nu toute la surface des rochers sur 20 à 25 mètres en deçà de la ligne du parement amont et rechercher avec soin les fissures qui pouvaient donner des fuites. Ce travail important a été fait avec beaucoup de soin et a donné d'excellents résultats. Les fissures ont été ouvertes sur toute leur longueur dans la partie du réservoir immergée. Les plus importantes ont été remplies avec de la maçonnerie ordinaire, les moins importantes ont été remplies avec du mortier de ciment. Les unes et les autres ont été recouvertes d'un enduit en ciment de $0^m,03$ d'épaisseur. Les parties de la roche qui ne

paraissaient pas aussi saines que les autres ont été recouvertes d'un enduit général de 0m,03. Enfin, pour préserver le massif lui-même des filtrations, le parement amont a été recouvert d'un enduit de 0m,03 dans sa partie basse jusqu'à la cote (738.825), et rejointoyé en ciment de Vassy à partir de ce point jusqu'au niveau de la retenue permanente de la ville de Saint-Étienne. En outre, un bourrelet de ciment en forme de solin a été exécuté sur 0m,20 à 0m,30 de largeur sur toute la hauteur du barrage dans l'angle formé sur le fond et les côtés de la vallée par le rocher naturel et le massif du barrage.

Ces précautions ont donné les meilleurs résultats, et lors de la mise en eau du barrage qui a eu lieu jusqu'au niveau maximum de la retenue en 1866, il ne s'est manifesté à l'aval du barrage que des filtrations insignifiantes qui atteignaient à peine 2 litres par seconde sous la pression de 50 mètres de hauteur. Ces filtrations étaient dues en grande partie à des fissures existant dans le rocher à la partie moyenne du barrage, et qui n'avaient pas été reconnues lors de l'exécution des rejointoiements. Le cimentage de ces fissures a suffi pour les annuler, et l'on peut dire aujourd'hui que l'étanchéité du barrage est à peu près parfaite. Lorsque le réservoir est plein, le parement aval se couvre simplement d'une légère humidité que nous attribuons à la porosité des pierres et des mortiers employés et qui ne pourrait être évitée qu'à l'aide d'un enduit général en ciment sur le parement d'amont.

49. *Installation du chantier.* — Le cube total de la maçonnerie du barrage est d'environ 40.000 mètres cubes; commencé en 1862, le gros œuvre a été terminé en 1866 et a exigé quatre campagnes, pendant chacune desquelles on a effectué 10.000 mètres cubes de maçonnerie. A cause de l'altitude du barrage (700 mètres au-dessus du niveau de la mer) et des gelées précoces qui arrivaient dans la vallée du Furens, les travaux ne pouvaient pas être com-

mencés avant le 1er mai et devaient être suspendus à la fin d'octobre; ils ne duraient que six mois, et le nombre des jours de travail effectif ne dépassait pas, pendant chaque campagne, cent vingt. Pour exécuter 10.000 mètres cubes par an, il fallait donc faire en moyenne $\frac{10.000}{120}$ mètres cubes par jour, soit environ 80 mètres cubes. Pour arriver à ce résultat, les dispositions du chantier ont été les suivantes.

Approche des matériaux. — La majeure partie des matériaux employés dans la construction du barrage devait être choisie dans les déblais de rocher du canal de dérivation. Ces déblais, précipités sur le flanc du talus de rive gauche de la vallée, avaient roulé jusqu'au fond de la vallée. C'est là que les moellons propres à la construction étaient triés, choisis et lavés; ils étaient ensuite chargés dans des wagons de 1^m,50 de capacité, trainés par des chevaux sur un chemin de fer qui était établi sur la rive gauche de la vallée et permettait de les décharger à proximité des travaux, dans des lieux de dépôts assez spacieux pour contenir 2 à 3.000 mètres cubes de moellons. Trois dépôts successifs ont été établis à trois niveaux différents, suivant le degré d'avancement de la maçonnerie. Le premier dépôt, à 15 mètres en contre-haut du fond, a servi à l'exécution de la maçonnerie pendant la campagne de 1862 ; le deuxième, à 25 mètres en contre-haut du fond, a servi à l'exécution de la maçonnerie pendant la compagne de 1863 ; enfin le dernier dépôt, à 45 mètres en contre-haut du fond de la vallée, a servi à la maçonnerie des campagnes de 1865 et 1866. Pour accéder au premier et au deuxième dépôt, le chemin de fer de service présentait une rampe de 0^m,03 à 0,04 par mètre, et les wagons étaient traînés par des chevaux. Pour accéder au troisième dépôt, on a dû établir un plan incliné de 20 mètres de hauteur verticale et de 0^m,25 de pente par mètre.

Les wagons étaient remorqués sur ce plan incliné à l'aide d'un câble en fil de fer par une locomobile de 5 chevaux placée au point culminant.

Comme le triage des matériaux provenant des déblais du canal de dérivation ne fournissait pas toujours des moellons propres aux maçonneries des parements, on a été conduit à ouvrir trois carrières, l'une sur la rive droite immédiatement à l'aval du barrage et à mi-hauteur de l'ouvrage, l'autre sur la rive gauche au niveau du couronnement, et la troisième à l'extrémité du réservoir. Ces carrières ont fourni environ 5.000 mètres cubes de pierres dont 2.000 mètres cubes ont été employés dans les parements. Les matériaux de la carrière la plus éloignée étaient d'ailleurs conduits au lieu d'emploi par le chemin de fer de service comme les matériaux provenant des déblais du canal.

Grâce à ces dispositions, on parvenait à approvisionner chaque jour aux abords du barrage 90 mètres cubes à 100 mètres cubes de pierres, ce qui permettait d'exécuter 80 mètres cubes environ de maçonnerie, et pour parer aux éventualités, on avait la réserve de 3.000 mètres cubes préparée pendant l'hiver et qui s'augmentait ou diminuait suivant que l'arrivage des matériaux par le chemin de service était supérieur ou inférieur à la quantité employée chaque jour dans la maçonnerie.

Les matériaux approvisionnés à proximité du barrage étaient amenés à pied d'œuvre à l'aide d'un chemin de fer qui, partant du lieu de dépôt principal situé, comme nous l'avons dit, sur le flanc gauche de la vallée, en amont du barrage, était établi dans l'axe du barrage et reposait sur la maçonnerie déjà exécutée. Les pierres, lavées et brossées avec soin avant leur chargement dans les wagonnets, étaient déposées à portée des maçons sur des platelages en bois. Les ouvriers maçonnaient une assise de $1^{m},50$ de hauteur en allant des parements vers le centre et s'approchaient

ainsi parallèlement de la voie de service qui était alors enlevée pour être reportée en amont ou en aval sur l'assise nouvellement exécutée. Lorsque la voie était enlevée, des maçons remplissaient le vide de $1^m,50$ à 2 mètres de largeur qu'elle laissait dans l'assise commencée et reprenaient ensuite une nouvelle levée de $1^m,50$ en procédant toujours de la même manière.

Ce mode d'exécution exigeait le déplacement et le relèvement de la voie de service sur le barrage à chaque levée de $1^m,50$ de hauteur.

Ce déplacement avait lieu deux fois par mois et s'effectuait sans perte de temps du samedi au lundi matin. Il présentait néanmoins quelques difficultés et entraînait dans des faux frais assez considérables. Il ne permettait pas d'ailleurs d'exécuter plus de 90 à 100 mètres cubes de maçonnerie par jour.

Pont de service établi pour la construction du barrage de Saint-Chamond. — Dans la construction du barrage de Saint-Chamond, le chantier a été disposé autrement.

On a établi un pont de service en charpente de 35 mètres de hauteur embrassant tout l'emplacement du barrage et sur lequel roulaient par trois voies de chemin de fer des treuils destinés à prendre les cadres chargés de pierre dans les lieux de dépôts et à les descendre sur les maçonneries à la portée des ouvriers. A cet effet, le plancher sur lequel les voies étaient placées était soutenu par des moises fixées aux poteaux montants et interrompues dans l'axe de ces voies de façon à permettre le passage de la chaîne destinée à soutenir au-dessus des wagonnets les cadres chargés et à les transporter au lieu d'emploi. La manœuvre s'opérait très-simplement. Les wagonnets portant des cadres chargés de 1/4 à 1/5 de mètre cube de pierre amenaient par voie ferrée les matériaux de la carrière jusqu'au-dessous des voies du pont de service. Les chaînes de levage des treuils étaient alors accrochées aux quatre angles des cadres;

deux hommes agissant sur les manivelles du treuil soulevaient le cadre et faisaient rouler le treuil en avant jusqu'à l'aplomb du lieu d'emploi; on enlevait alors le cliquet de sûreté du treuil et l'on descendait le cadre au point voulu en modérant sa vitesse à l'aide d'un frein. Les mortiers étaient aussi transportés par les voies de service du pont; en sortant des broyeurs, ils étaient reçus dans des wagons qui les transportaient au droit des couloirs destinés à les conduire dans les caisses de dépôt, d'où ils étaient repris pour le service des maçons.

Les poteaux montants extrêmes du pont de service étaient placés en dehors des maçonneries sur des semelles en bois établies bien horizontalement sur le rocher. On n'a donc pas eu à y toucher pendant tout le temps de la construction du barrage. Quant aux poteaux intermédiaires, on les recépait tous les 2 mètres au fur et à mesure de l'avancement des maçonneries.

Le premier pont de service a permis d'exécuter les maçonneries sur 30 mètres de hauteur pendant les campagnes de 1867 et de 1868. A ce moment-là il a été démoli, et les mêmes bois ont servi à en établir un deuxième de 15 mètres de hauteur, dont les poteaux montants étaient supportés en amont par des consoles en fer fixées dans la maçonnerie du barrage et reposaient en aval sur des entailles faites dans le talus incliné du massif. Ce pont ne portait qu'une voie de service pour les matériaux et une voie pour le mortier placée sur les chapeaux des fermes à 2 mètres en contre-haut de la première.

La dépense des deux ponts de service, défalcation faite de la valeur des bois vendus, s'est élevée à 28.000 francs. Elle a donné une grande économie dans le bardage des matériaux, et a permis d'exécuter 120 à 130 mètres cubes de maçonnerie par jour.

Au barrage du Furens, où les mêmes moyens n'ont pas été employés, le cube de maçonnerie exécuté chaque jour

ne dépassait pas 80 à 90 mètres cubes. Ce cube exigeait l'emploi de 35 à 40 mètres cubes de mortier comportant l'arrivage de 40 mètres cubes de sable et de 14 à 15 tonnes de chaux. Le sable provenait d'arènes granitiques situées à 1.500 mètres du barrage sur la gauche de la vallée et à 150 mètres de hauteur au-dessus du couronnement de l'ouvrage. Il était amené à pied-d'œuvre à l'aide de deux couloirs en bois destinés à racheter la différence de niveau et d'un chemin de fer de service reliant les deux couloirs.

Le deuxième couloir le déversait sur une plate-forme ménagée dans le flanc gauche de la vallée au niveau du chemin du barrage. C'est là qu'étaient installés les appareils de fabrication du mortier se composant d'un mélangeur et de deux tonneaux broyeurs.

Fabrication du mortier. — Le mélangeur consistait en une conche en fonte de 3 mètres de diamètre dans laquelle on versait $0^{m},40$ de sable et 150 kilogrammes de chaux blutée. On agitait le mélange en mettant en mouvement des griffes portées par quatre bras reliés à un axe vertical qui traversait la conche. On versait ensuite, à l'aide d'une pomme d'arrosoir, le volume d'eau nécessaire au mortier et l'on faisait tourner les griffes jusqu'à ce que le mélange fût bien homogène. On enlevait alors latéralement un des segments en fonte de la sole, et le mortier déjà à moitié fabriqué tombait dans des tonneaux broyeurs de 2 mètres de hauteur et de $1^{m},30$ de diamètre qui le trituraient et achevaient sa confection.

Le mélangeur et les tonneaux broyeurs étaient mis en mouvement par une locomobile à vapeur de 8 chevaux.

Le mortier fabriqué descendait par un couloir en bois garni de tôle intérieurement sur une plate-forme en charpente établie un peu au-dessus du niveau de la maçonnerie, d'où il était repris ensuite pour être porté au lieu d'emploi, soit par un wagonnet de service, soit par les aides.

L'eau nécessaire à la confection du mortier et au lavage des matériaux était d'ailleurs fournie par l'aqueduc des fontaines de la ville établi sur la rive droite, à un niveau plus élevé que le couronnement du barrage. Un tuyau en plomb de $0^m,04$ de diamètre, supporté par un câble en fil de fer tendu d'un côté à l'autre de la vallée, partait de l'aqueduc et aboutissait sur la rive gauche dans un réservoir de 30 mètres cubes de capacité qui fournissait l'eau par des embranchements spéciaux aux divers chantiers.

L'arrivage de la chaux et de la pierre de taille se faisait à l'aide de charrettes à bœufs par un chemin ouvert à cet effet entre le sommet du barrage et le village de Planfoy, situé sur la route nationale n° 82, de Saint-Étienne à Annonay.

50. *Surveillance pendant l'exécution des travaux.* — La surveillance la plus active a été exercée pendant tout le temps de l'exécution des travaux, soit sur le choix, soit sur l'emploi des matériaux.

Les moellons étaient une première fois lavés en carrière; on les débarrassait de toute trace d'argile ou de terre à l'aide de brosses en fil de fer et en chiendent; puis avant leur chargement sur les wagonnets qui les amenaient du dépôt à pied d'œuvre, ils étaient de nouveau visités et arrosés, de sorte qu'ils arrivaient parfaitement propres sur la maçonnerie.

Le sable extrait des arènes granitiques de Planfoy était grenu, bien criant à la main, et ne contenait aucune matière terreuse.

Enfin la chaux, qui provenait des fours de M. Pavin de Lafarge du Theil, arrivait blutée en sac de 50 kilogrammes. Elle était conservée à l'abri de l'humidité dans des magasins bien fermés, et chaque sac était visité avant l'emploi. S'il contenait des grumeaux ou des parties ayant déjà fait prise, il était rebuté.

Des essais étaient faits tous les jours avec les mortiers

employés. On en remplissait deux ou trois petites caisses en bois qu'on immergeait dans l'eau après avoir indiqué la date de l'immersion. On les retirait au bout de quinze jours et l'on constatait les résultats obtenus.

Aucun des essais n'a été défectueux ; seulement l'hydraulicité des mortiers était plus ou moins grande suivant que le sable était plus ou moins grenu.

Le nombre des maçons travaillant à la maçonnerie était de trente-cinq à quarante, faisant 2 mètres cubes à $2^{mc},50$ de maçonnerie par jour. Ils étaient surveillés par quatre agents ayant tous été maçons autrefois. Le conducteur chargé des travaux ne quittait jamais le chantier, qui était d'ailleurs visité très-souvent, soit par M. l'ingénieur en chef, soit par nous. Grâce à cette organisation, aucune malfaçon n'était possible, les matériaux étaient toujours propres, les mortiers fabriqués sous la surveillance immédiate d'un cinquième surveillant étaient toujours parfaitement broyés, ni trop mous ni trop secs ; enfin le nettoyage des maçonneries, au moment de la reprise d'une assise, était fait avec un soin et une attention toute particulière.

51. *Dépense des travaux du barrage proprement dit.*— La dépense totale des travaux du barrage s'est élevée à la somme de 902.000 francs, savoir :

Déblais pour les fondations du barrage et pour les recherches de fissures aux abords et dans les deux versants :	
Déblais dans la terre, 5.000 mètres cubes à 1 franc.	francs. 5.000
Déblais dans le rocher ordinaire, 3.000 mètres cubes à $2^f,80$.	8.400
Déblais dans le rocher, avec entailles, 8.500 mètres cubes à $3^f,30$.	28.050
Maçonnerie de moellons ordinaires, 45.000 mètres cubes à 15 francs.	675.000
Parements vus de cette maçonnerie,	
A reporter.	716,450

	francs.
Report.	716.450
6.300 mètres carrés à $3^f,12$.	19.656
Maçonnerie de pierre de taille de granit de Moingt, pour les couronnements de la risberme d'amont, de la risberme d'aval et pour les corbeaux sur le parement aval, 85 mètres cubes à 130 francs.	11.050
Parements vus de cette maçonnerie, 470 mètres carrés à 8 francs.	3.760
Maçonnerie de pierre de taille de Villebois, pour le couronnement y compris la taille, 240 mètres cubes à 150 francs.	36.000
Enduit en mortier de ciment, de $0^m,04$ d'épaisseur, dans la partie inférieure du barrage, parement amont, 300 mètres carrés à $4^f,60$.	1 380
Rejointoiement en mortier de ciment de Vassy du parement amont du barrage, 2.000 mètres carrés à 2 francs.	4.000
Rocaillage des parties lisses du rocher à l'emplacement du barrage, recherches et maçonnerie des fissures.	20.000
Murs de soutènement aux abords du barrage, 150 mètres cubes à $11^f,80$.	1.770
Total.	814.066
Somme à valoir pour épuisements, sentier aux abords du barrage et travaux divers accessoires.	87.934
Total égal.	902.000

Sous-détail des principaux prix. — Nous croyons utile de donner le détail de quelques-uns des prix qui figurent dans ce décompte.

La maçonnerie ordinaire a été payée 15 francs le mètre cube. Son prix de revient s'établit ainsi qu'il suit :

	francs.
$1^m,10$ de matériaux, déchet compris, à $2^f,20$ le mètre cube.	2,42
(Ce prix comprend le triage dans les déblais	
A reporter.	2,42

		francs.
Report.		2,42
du canal et le transport à proximité des travaux.)		
Nettoyage, lavage et brossage des matériaux, $1^{m},10$ à $0^{f},30$ le mètre cube		0,33
$0^{mc},42$ de mortier de chaux du Theil, à $15^{f},38$. .		6,46
1 mètre cube de mortier se composait de $0^{mc},90$ de sable des arènes granitiques de Planfoy, à 3 francs.	$2^{f},70$	
340 kilog. de chaux blutée du Theil à $0^{f},32$ le kilogramme.	$10^{f},88$	
Façon et faux frais.	$1^{f},80$	
Total.	$15^{f},38$	
Approche des matériaux à pied d'œuvre. . . .		1,00
Façon de la maçonnerie.		2,21
Outils, échafaudages, faux frais.		1,22
Total.		13,64
Bénéfice, 1/10.		1,36
Total égal.		15,00

L'enduit de $0^{m},04$ d'épaisseur dans la partie inférieure a été exécuté sur un rocaillage en ciment exécuté au préalable sur toute la surface à enduire. Son prix de revient a été de $4^{f},60$ le mètre carré, savoir :

		francs.
$0^{mc},04$ de mortier de ciment à $72^{f},50$.		2,90
Ce mortier se composait de $0^{mc},80$ de sable de la Loire, à 10 francs.	$8^{f},00$	
700 kilog. de ciment à $8^{f},50$ les 100 kilog.	$59^{f},50$	
Façon du mortier.	$5^{f},00$	
Total.	$72^{f},50$	
$0^{m},020$ de pierres cassées bien propres et bien lavées, à 5 francs.		0,10
Façon pour nettoyage des joints, rocaillages et enduits.		0,80
Outils, faux frais.		0,38
Total.		4,18
Bénéfice, 1/10.		0,42
Total.		4,60

Le rejointoiement avec ciment de Vassy a été exécuté sur le surplus du parement amont du barrage au prix de 2 francs le mètre carré, savoir :

	francs.
0^{mc},015 de mortier de ciment à 72^{f},50 le mètre cube.	1,08
Nettoyage des joints et façon du rejointoiement.	0,60
Outils, faux frais.	0,14
Total.	1,82
Bénéfice, 1/10.	0,18
Total.	2,00

Le rocaillage des parties lisses du rocher coûtait 2^{f},05 par mètre carré, savoir :

	francs.
0^{m},02 de mortier de ciment à 72^{f},50.	1,45
Façon et fourniture de pierres cassées.	0,40
Outils, faux frais et bénéfice.	0,20
Total.	2,05

Le mortier de ciment employé pour boucher les fissures se composait de deux parties de sable pour une partie de ciment et coûtait 56 francs, savoir :

	francs.
0^{m},90 de sable de la Loire à 10 francs.	9,00
500 kilogrammes de ciment à 8^{f},50.	42,50
Façon et dosage.	4,50
Total.	56,00

Enfin la plus-value pour parement vu des parements amont et aval du barrage s'établissait ainsi qu'il suit :

	francs.
Dégrossissage de moellons pour parement, choix, façon des lits et joints.	1,80
0^{mc},01 de mortier à 15^{f},38.	0,15
Façon des joints et pose.	0,65
Outils, faux frais.	0,24
Total.	2,84
Bénéfice, 1/10.	0,28
Total.	3,12

52. *Dépense totale des travaux du réservoir du gouffre d'Enfer.* — Récapitulant les dépenses indiquées ci-dessus pour les travaux concernant le barrage du gouffre d'Enfer, on arrive à une dépense totale de 1.590.000 francs, savoir :

		francs.
Ventellerie de prise d'eau.		36.000
Canal de dérivation.		350.000
Tunnels de vidange	inférieur.	102.000
	supérieur.	18.000
Grand barrage.		902.000
Total.		1.408.000
A ce total il faut ajouter les indemnités de terrain, qui se sont élevées à. . .		182.000
Ce qui donne une dépense totale et définitive de.		1.590.000

Le cube emmagasiné au moment où l'eau atteint le niveau supérieur de la retenue étant de 1.600.000, le prix du mètre cube est de $1^f,15$ environ. Ce prix est sans doute élevé, mais en raison du peu de largeur que présente la vallée dans sa partie inférieure, il l'eût été encore davantage si, au lieu d'un barrage de 50 mètres, on eût construit deux barrages de 35 mètres de hauteur. Tel qu'il ressort des calculs que nous venons d'indiquer, il n'est pas en disproportion avec les résultats qu'on se proposait d'atteindre. Ce sont ces résultats qu'il nous reste maintenant à faire connaître dans le chapitre III de cette notice.

CHAPITRE III.

Récapitulation de la dépense des travaux et résultats obtenus par leur exécution.

L'ensemble des travaux que nous venons de décrire, comprenant le captage des sources, la construction de l'aqueduc, la distribution des eaux dans Saint-Étienne et la construction du réservoir du gouffre d'Enfer, y compris les indemnités de terrain, s'est élevé, d'après ce qui a été dit dans les chapitres I et II, à la somme de 4.800.000 fr., savoir :

	francs.
Acquisition de 220 hectares de terrains, tant pour les captages des sources que pour la construction de l'aqueduc principal.	750.000
Construction de l'aqueduc principal. . . .	1.080.000
Travaux de captage des sources.	350.000
Construction des bassins de distribution d'une capacité de 16.000 mètres cubes,	280.000
Construction du réseau de conduites dans l'intérieur de Saint-Étienne, sur une longueur de 65 kilomètres, bornes-fontaines, bouches d'arrosage, etc. . .	640.000
Construction du réservoir du gouffre d'Enfer, y compris les indemnités de terrain qui se sont élevées à 182.000 fr. .	1.590.000
Frais de personnels, maisons de gardes, dépenses diverses.	110.000
Total.	4.800.000
De ce chiffre, il faut retrancher la subvention de l'État, qui a atteint. . . .	610.000
Il n'est resté à la charge de la ville qu'une dépense de.	4.190.000
qui a été portée à.	4.500.000
par suite de nouveaux travaux de canalisation exécutés dans l'intérieur de la ville depuis deux ans et de la pose de bouches d'arrosage dans toutes les rues.	

Cette dépense est minime si l'on considère les résultats obtenus. Grâce à ces travaux, la ville de Saint-Étienne reçoit journellement pour la consommation des habitants et de nombreuses industries qui existent dans son enceinte 13.000 mètres cubes (soit 130 litres par habitant) d'une eau pure et saine dont les qualités, vraiment exceptionnelles, sont appréciées par toute la population. En outre, elle est à l'abri des inondations du Furens qui se reproduisaient périodiquement autrefois. Les eaux de crues, au lieu d'être dommageables aux riverains de la vallée et aux habitants de Saint-Etienne, sont emmagasinées dans le réservoir du gouffre d'Enfer et permettent d'augmenter notablement le débit d'étiage du Furens. Un double résultat est atteint; on a amélioré la situation des usines qui longent le cours d'eau, on a supprimé une partie des inconvénients que présentait la traversée du Furens dans l'intérieur de Saint-Étienne. Son lit, mieux lavé en été, ne laisse plus échapper avec autant d'abondance les gaz délétères qui s'en dégageaient au moment des grandes sécheresses.

Au point de vue des intérêts généraux de la cité et de la vallée du Furens, les résultats des travaux ont été très-complets; au point de vue financier, ils ne sont pas moins satisfaisants.

La vente des eaux à domicile aux industriels et aux habitants donne en effet actuellement un revenu de 150.000 francs, auquel il faut ajouter le revenu des forêts, propriétés et prairies achetées par la ville pour les captages des sources, revenu qui peut être évalué à 15.000 fr.; ce qui donne à ce jour 165.000 francs.

De cette somme il faut retrancher les frais d'entretien et de surveillance des travaux, s'élevant à 36.000 francs, savoir :

Pour les réservoirs, dont la direction et la surveillance restent toujours entre les mains de l'État, les frais d'entretien et de

	francs.
personnel sont évaluées à.	10.000
Sur cette somme, l'État fournit.	4.000
Reste à la charge de la ville.	6.000
Pour l'entretien et la surveillance des travaux de captage, de canalisation et le service des abonnements dans l'intérieur de la ville, les frais, s'élèvent à.	30.000

Le produit net atteint le chiffre de 129.000 francs, soit environ 2 1/2 p. 100 du capital dépensé.

Les 13.000 mètres cubes par vingt-quatre heures dont la ville de Saint-Étienne peut disposer se répartissent d'ailleurs de la manière suivante :

	m. c.
Service municipal comprenant les bornes-fontaines, les bouches d'arrosage, les jets d'eau, les abreuvoirs et usines.	6.700
Concessions gratuites aux établissements publics de bienfaisance.	1.800
Concessions payantes.	4.500
Total.	13.000

Les concessions payantes, dont le prix moyen ressort à 33 francs par mètre cube et par an, sont de deux natures; elles sont souscrites à la jauge pour les industriels et à robinet libre pour les usages domestiques.

Les unes et les autres tendent chaque jour à se développer; en outre, les communes voisines de Saint-Étienne, dont le sous-sol est desséché par les exploitations de mines, demandent toutes avec instance la faculté de prolonger jusque sur leur territoire les canalisations de la ville. Ces besoins, que l'excessive sécheresse de l'automne de 1869 a rendus plus impérieux encore, ne pourront être satisfaits d'une manière complète qu'après la construction du deuxième barrage prévu au Pas-du-Riot sur le Furens, en amont du barrage du gouffre d'Enfer, et dont nous avons eu occasion de parler dans cette notice. Ce deuxième réser-

voir, dont la capacité sera de 1.300.000 mètres cubes, permettra d'augmenter le débit d'étiage du Furens et de porter à 18.000 mètres cubes par 24 heures le volume d'eau dont la ville de Saint-Étienne pourra disposer.

Comme dans la répartition actuelle du volume de 13.000 mètres cubes indiquée plus haut, tous les services publics sont largement satisfaits, la ville pourra mettre à la disposition de ses nouveaux abonnés et des communes voisines un volume de 5.000 mètres cubes par vingt-quatre heures, qui sera suffisant pour donner à l'industrie locale tout l'essor dont elle est susceptible. Il est permis d'espérer que le revenu que la ville tirera des eaux s'accroîtra de 150.000 francs et atteindra le chiffre total de 279.000 fr.

La dépense du nouveau réservoir projeté étant évaluée à 800.000 francs, la dépense totale, en admettant que la ville soit abandonnée à ses propres ressources pour l'exécution de ces nouveaux travaux, atteindra le chiffre de 5.300.000 francs. Sa recette nette correspondra donc à 5 p. 100 de la dépense.

L'administration de la ville de Saint-Étienne, dirigée de 1859 à 1865 par M. Faure-Belon, et de 1865 à 1870 par M. Charvet, en entreprenant courageusement les travaux que nous venons de décrire, a donc accompli une œuvre essentiellement utile aux intérêts de la cité sans grever ses finances. Grâce à l'alimentation abondante en eau pure et salubre dont elle a pourvu les habitants, elle a facilité le développement de l'industrie, assuré la salubrité de la ville et éloigné le retour des épidémies qui désolaient autrefois sa population. Elle a en même temps préservé Saint-Étienne contre tout danger d'inondation. Elle s'est acquis ainsi des titres impérissables à la reconnaissance publique.

Le succès de l'œuvre exécutée n'est d'ailleurs plus contesté aujourd'hui, et nous sommes heureux d'avoir été appelé par M. Graeff à nous y associer. En terminant, qu'on

nous permette de citer les noms des conducteurs qui ont pris part à ces travaux.

Ce sont : MM. Lauru, Schenaebelé, Bertrand, Calliat, Duplay, Odin (J. M.) Odin (J. B.) et Aubert. Nous ne saurions trop louer le zèle et le dévouement dont ils ont fait preuve, et nous saisissons avec empressement l'occasion qui nous est offerte ici de leur témoigner toute notre reconnaissance.

Saint-Étienne, le 1er juillet 1870.

N° 6

MACHINE A AIR CHAUD.

NOTE

Par M. L. POCHET, ingénieur des ponts et chaussées.

Sous le titre de *Théorie des machines aérothermiques*, M. Hirsch, ingénieur des ponts et chaussées, a publié un intéressant article dans le 5e cahier des *Annales des ponts et chaussées* de l'année 1874. Après avoir résumé sous une forme originale les principes actuels de la théorie des machines à air chaud, notre camarade s'attache à la description et au calcul d'une machine qu'il nomme *générateur de pression*, et dont le but est de comprimer de l'air à basse température. Le dispositif représenté par la *fig.* 14 de la Pl. 7 (1874), et imaginé, paraît-il, par Stirling en 1816, consiste en un cylindre vertical dans lequel se meut un piston réfractaire. Le haut et le bas du cylindre sont réunis par un *régénérateur* de chaleur qui consiste, par exemple, dans un paquet de toiles métalliques. Le haut du cylindre est chauffé soit par une combustion intérieure, soit par un foyer extérieur, et est muni d'une soupape d'aspiration qui communique avec un réservoir d'air froid à une pression relativement basse; le bas du cylindre est refroidi par un courant d'eau extérieur et est muni d'une soupape d'évacuation qui communique avec un réservoir d'air à une pression relativement haute.

Il est facile de comprendre que le mouvement alternatif du piston fait passer successivement des volumes d'air du

réservoir à basse pression dans le réservoir à haute pression. Cet air comprimé est à peu près froid. Cette machine constitue, à proprement parler, une machine à fabriquer de l'air comprimé. Le fluide gazeux peut être ensuite utilisé dans un cylindre de machine à vapeur ordinaire voisin de la machine de compression, ou même éloigné, mais réuni à la machine de compression par une *conduite.*

Notre camarade, M. Hirsch, ignore très-certainement que nous avons décrit et calculé dans notre ouvrage intitulé *Nouvelle mécanique industrielle* (Dunod, éditeur, 1874), page 176, une machine absolument semblable à celle qu'il décrit sous le nom de *générateur de pression.*

La machine à air chaud dont nous voulons parler est de M. Louis Lemoine (de Rouen). Son invention remonte à 1853. Nous ne connaissons pas M. Lemoine et nous n'avons eu connaissance de son invention que par une brochure de M. Reech qui date de 1854. Le système de M. Lemoine ne diffère du générateur de pression décrit par M. Hirsch qu'en ce que M. Lemoine emploie pour piston le régénérateur de chaleur lui-même. Ce piston consiste en un paquet de toiles métalliques. Cette disposition nous paraît très-heureuse. Il est aisé de voir que le fonctionnement de la machine de M. Lemoine est le même que celui de la machine décrite par M. Hirsch. Nos calculs sont du reste identiques aux siens, sauf les notations.

M. Hirsch fait une application du générateur de pression aux souffleries de hauts fourneaux et aux machines marines. Nous avions également fait cette application pour une soufflerie d'un haut fourneau produisant 4.000 kilog. de fonte au bois par jour et pour une machine marine de la force de 600 chevaux. A propos des souffleries de forge, nous démontrions que la machine Lemoine pourrait travailler avec un rendement calorifique voisin de 0,50, et nous ajoutions :

« Ce rendement est extrêmement élevé et il montre que

« l'appareil de M. Lemoine serait utilement employé pour « remplacer les souffleries et les ventilateurs. Ces appa- « reils donnent généralement dans l'industrie une très- « mauvaise utilisation de la chaleur dépensée. En ce qui « concerne les ventilateurs notamment, on ne peut guère « estimer leur rendement calorifique à plus de 0,003 à 0,004 « de la chaleur reçue par les chaudières.

« Il y a là tout un ordre d'essais très-importants à tenter « et qui nous paraissent renfermer de sérieuses chances « de réussite. »

M. Hirsch semble indiquer que des expériences sérieuses se poursuivent actuellement. Nous ne doutons pas qu'il en puisse sortir de grands résultats.

CHRONIQUE.

Février 1875.

N° 7

Machinerie des nouvelles cales sèches, à Chatham. — Les quatre nouvelles cales sèches qui constituent une partie des améliorations apportées au port de Chatham sont munies des pompes les plus puissantes qui aient été construites pour un pareil service : elles ont été construites par MM. J. et G. Rennie de Blackfriars, et les épreuves officielles ont eu lieu il y a quelques mois sous la surveillance de M. Eames, ingénieur en chef des travaux. La machine à vapeur qui met ces pompes en mouvement est de très-grandes dimensions et possède un pouvoir nominal de 200 chevaux-vapeur; mais elle fournit ordinairement une puissance de 800 chevaux et pendant l'épreuve a donné jusqu'à 1.000 chevaux-vapeur. Les deux pompes centrifuges ont chacune $2^m,55$ de diamètre; elles sont disposées d'une manière particulière, étant placées à deux niveaux différents : les puits dans lesquels elles se trouvent ont 12 mètres de profondeur; les pompes devaient être construites de manière à vider les bassins en deux heures. Lors de l'épreuve officielle on choisit la plus grande cale qui se trouvait à 250 mètres environ des machines. La partie supérieure du bassin qui contenait 20.000 tonnes d'eau fut vidée en 39 mi-

nutes; la partie inférieure, dont la capacité était de près de 15.000 tonnes, fut vidée en 66 minutes : l'opération avait donc duré 1 heure 3/4 en totalité, un quart d'heure de moins que le temps fixé; la dépense de combustible a été évaluée dans cette expérience à 1 kilogramme de charbon par cheval-vapeur *évalué* et par heure. (*Iron.*)

De l'influence des forêts sur la quantité de pluie que reçoit une contrée (*). — Les questions relatives à l'influence des forêts sur l'hydrologie d'une contrée sont encore mal connues : divers savants s'en sont occupés et sont arrivés à des conclusions fort différentes. Il y aurait évidemment un intérêt réel à s'assurer, par des séries d'observations suffisamment prolongées, si les forêts augmentent la quantité d'eau que reçoit le sol ou si elles la diminuent.

MM. Sartiaux, ingénieur des ponts et chaussées, et Fautrat ont commencé des observations de cette nature, et ont présenté dernièrement à l'Académie des sciences les premiers résultats qu'ils ont obtenus : ces observations consistent à comparer les données pluviométriques, hygrométriques, thermiques au-dessus d'un massif boisé et à une distance assez faible de ce massif pour que les différences ne puissent être attribuées qu'à l'influence de la forêt et non à d'autres circonstances telles que l'altitude, la configuration du pays, etc.

L'installation comprend un pluviomètre, un psychromètre, des thermomètres à maxima et à minima et un évaporomètre placé à 6 mètres environ au-dessus d'un massif s'élevant à 8 ou 9 mètres au-dessus du sol et situé au centre de la forêt domaniale d'Halatte dont la contenance est de

---

(*) Extrait d'une note présentée à l'Académie des sciences par MM. A. Sartiaux, ingénieur des ponts et chaussées, et L. Fautrat.

5.000 hectares; d'autre part, à 300 mètres de la forêt, à la même hauteur au-dessus du sol, en terrain découvert, les mêmes instruments ont été placés dans les mêmes conditions; il semble dès lors que la différence des résultats obtenus ne pourra être attribuée qu'à l'influence de la forêt.

Les chiffres présentés à l'Académie par MM. Fautrat et Sartiaux se rapportent à la quantité d'eau tombée et à l'état hygrométrique.

De février 1874 à fin juillet, la quantité de pluie tombée au-dessus du massif boisé, $192^{mm},50$, a surpassé de $15^{mm},50$ la quantité de pluie 177 millimètres tombée en dehors de la forêt; la différence pour un mois s'est élevée jusqu'à $3^{mm},75$.

De mars à fin juillet, la moyenne de l'état hygrométrique de l'air au-dessus du massif boisé 0,63 a surpassé de 0,013 la moyenne de l'état hygrométrique à 300 mètres du massif boisé, 0,617 : la différence des moyennes pour un mois s'est élevée jusqu'à 0,037.

Ces observations doivent être continuées et ce ne sera qu'après un certain temps qu'il sera possible d'en tirer des conclusions positives. Quoi qu'il en soit, on peut remarquer que, jusqu'à présent, les chiffres fournis confirment les conclusions de Dausse, les idées de M. Becquerel et les observations de M. Mathieu, de Nancy.

Utilisation de l'eau de mer. — Plusieurs essais ont été faits dans divers ports de mer en Angleterre pour utiliser l'eau de mer à divers services, tels que les bains publics, le nettoyage des égouts, l'arrosage des rues, etc. Le docteur Yeld, médecin du service de santé du Sunderland, a présenté récemment un rapport sur ces essais; il conclut à l'avantage que présente l'eau de mer particulièrement pour l'arrosage des rues qui restent plus longtemps humides

qu'avec l'eau douce, même par les temps chauds; en outre, il paraît que par ce moyen la cohésion des matériaux qui constitue les routes est augmentée. (*Iron.*)

Pont de la « Central Avenue » *à Newark*. — Le *Bulletin de la Société américaine des ingénieurs civils* fournit les renseignements suivants sur un pont qui a été terminé à Newark (New-Jersey) au commencement de cette année (1874.)

L'Avenue Centrale, une des plus belles voies par lesquelles on puisse sortir de Newark, devait traverser le canal Morris; comme il avait été décidé que cette avenue serait rectiligne, elle coupait ce canal sous un angle très-aigu et en un point où il change de direction, de telle sorte que le pont à construire (dont la largeur avait été fixée à 24 mètres) présentait au nord une longueur de 34 mètres tandis qu'au sud la longueur atteignait 80 mètres. En outre, l'un des côtés du pont devait se terminer à 15 mètres à peu près avant le commencement de l'autre. De plus, deux rues, une sur chaque rive, aboutissent à l'avenue Centrale juste au niveau du canal, et il n'était pas possible de placer dans le canal ni pile ni culée, ni de construire aucune maçonnerie qui s'approchât de la berge du canal de moins de $3^m,30$. Le projet présenté par la « Phillipsburg Manufacturing Company » fut adopté; voici en quoi il consiste :

Dans l'espace occupé par le pont, des murs formant *culées* ont été construits sur chaque rive; ils sont de longueur fort inégale. Le pont est composé de poutres transversales placées à peu près normalement au canal et non parallèles par conséquent. Parmi ces poutres, celles qui occupent la partie moyenne s'appuient par leurs deux extrémités sur les murs-culées dont nous avons parlé; celles qui sont du côté nord s'appuient, d'une part sur l'un de ces murs et de l'autre sur une poutre de 36 mètres de longueur, oblique

au canal et reposant à chaque extrémité sur le mur-culée de la rive correspondante. Une disposition analogue est reproduite du côté sud; seulement, la poutre de rive qui supporte les extrémités des poutres transversales et qui a une longueur de 80 mètres présente une disposition particulière : il importait en effet d'éviter de lui donner une trop grande hauteur qui aurait été imposée par sa grande longueur; pour éviter cet inconvénient, cette poutre, qui repose par ses extrémités sur les murs-culées, s'appuie en outre en deux points de sa longueur sur deux poutres placées transversalement au canal qui la divisent ainsi en trois travées de 27 mètres chacune environ. Ces poutres s'appuient d'une part sur l'un des murs-culées et d'autre part sur des culées isolées placées sur l'autre rive du canal; sur une partie de leur longueur elles sont situées sous le pont, dans l'autre partie elles sont à découvert.

Le prix de la superstructure n'a pas atteint 200.000 fr.

Les tramways de New-York.—Le *Journal officiel* fournit les renseignements suivants sur les tramways de New-Nork :

La longueur des voies ferrées réservées à la circulation des tramways est de 121 kilomètres; le service de ces voitures occupe 11.000 chevaux. Dans les moments de presse, les cars se succèdent à moins d'une minute d'intervalle; ils ont en moyenne une vitesse de 8 kilomètres à l'heure.

La construction des voitures, des bureaux, des écuries, l'établissement des rails, etc., coûtent environ 1.172.000 fr. par kilomètre. Le prix moyen de transport est de 0,256, tandis que la dépense moyenne par voyageur est de 0,207; ces chiffres laissent un produit net de 0,049 par voyageur.

Le nombre des voyageurs transportés en 1873 a été de 532 millions, soit 4.400.000 par kilomètre.

La circulation des tramways à New-York a augmenté de 225 p. 100 pendant les dix dernières années.

Appareil à éclipses du phare d'Holywood. — Dans l'une des séances du congrès tenu cette année à Belfast par l'Association britannique pour l'avancement des sciences, M. Bottanley a lu un mémoire dans lequel, après avoir indiqué les reproches que l'on peut adresser au système adopté pour distinguer les phares les uns des autres, système qui semble insuffisant (il s'agit du système appliqué en Angleterre), il fait connaître une récente application d'un mode d'individualisation de chaque phare, pour ainsi dire, mode qui avait été proposé par sir William Thomson d'après les idées plus générales et plus vagues de Babbage. Il s'agit de produire dans la lumière de chaque phare des éclipses dont la durée et la succession correspondent à l'une des séries de signaux qui forment les lettres de l'alphabet télégraphique Morse. Il fut décidé par les commissaires du port de Belfast que ce système serait appliqué au feu du banc de Holywood, feu qui maintenant est rouge et fixe et peut être confondu avec le feu rouge d'un vaisseau au port. Dans l'appareil qui a été construit et qui fonctionnera régulièrement dans quelque temps, un anneau de laiton tourne autour de la lanterne en s'appuyant sur trois rouleaux verticaux ; il est maintenu dans son mouvement par trois légères roues horizontales. Un mouvement de rotation, produit par un poids qui tombe et uniformisé par un régulateur spécial, est transmis à l'anneau par l'intermédiaire de l'un des rouleaux; cet anneau porte trois écrans produisant les éclipses; des masses en fonte servent à contre-balancer les poids de ces écrans et assurent l'équilibre. Ces écrans sont disposés dans cet appareil pour donner deux courtes éclipses suivies d'une longue (ce qui correspond à la lettre U du télégraphe Morse) : l'anneau fait un tour en 11 secondes; pendant 6 secondes la lumière brille sans interruption; les éclipses se produisent pendant les 5 autres secondes. Les expériences préparatoires qui ont été faites ont donné les meilleurs résultats, tant au point de

vue de la régularité du mouvement qu'à celui de la netteté de l'effet lumineux. Il y a là une idée qui pourra sans doute être appliquée dans d'autres circonstances.

C. M. G.

N° 8

PAROLES PRONONCÉES
SUR
LA TOMBE DE M. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DRŒLING

Le 26 février 1875

Par M. PERRIER, vice-président du conseil général des ponts et chaussées.

Messieurs,

Près de cette tombe qui va se fermer pour toujours sur les restes mortels de notre cher et excellent camarade Drœling, nous n'avons tous qu'une même pensée, celle de la perte immense que nous avons faite, nous ses collaborateurs et ses amis, et qu'a faite le Corps entier des Ponts et Chaussées, dont il était l'un des membres les plus éminents.

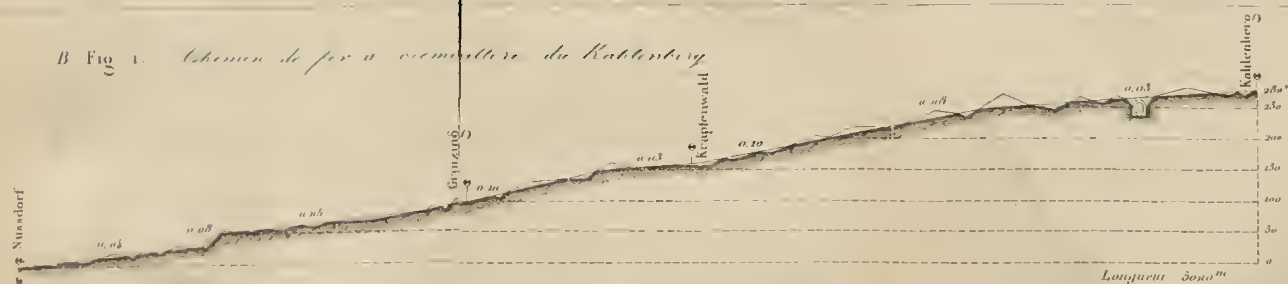
Ce n'est pas ici le lieu de retracer en détail tout ce que Drœling a fait de bien dans sa vie d'ingénieur si utilement remplie.

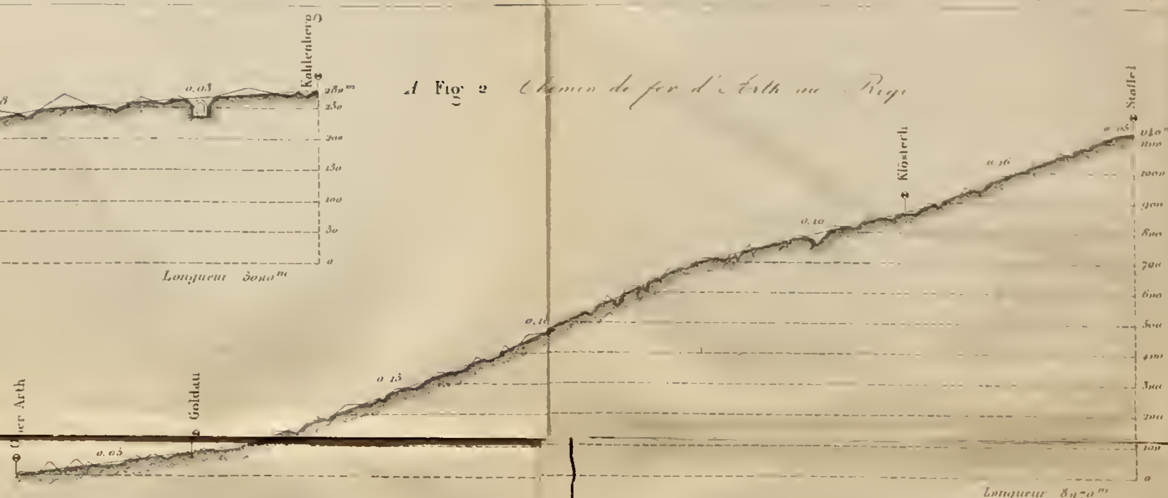
Dans tous les postes qu'il a occupés, il s'est distingué par un dévouement absolu à ses devoirs, par l'étude approfondie des questions, par un sens très-droit et une grande fermeté de caractère unie à une extrême bienveillance.

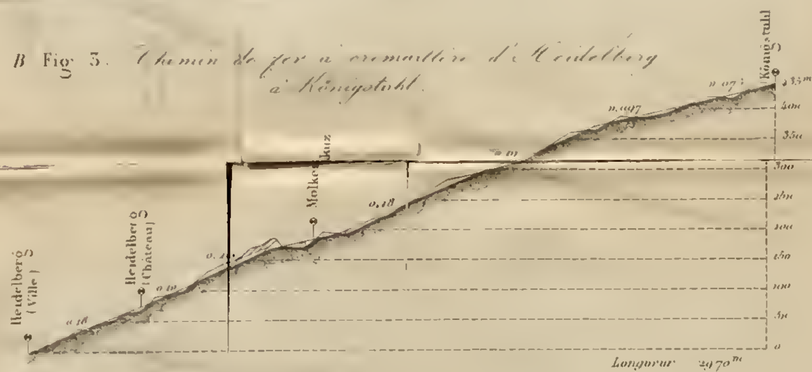
Appelé en 1864 à faire partie du Conseil général des Ponts et Chaussées, où sa place était marquée depuis longtemps, il s'y est montré, comme dans ses fonctions antérieures, un travailleur infatigable, et y a rendu de très-importants services. Sa parole, toujours sobre, mesurée, était écoutée avec respect et exerçait sur les délibérations du Conseil une grande et légitime influence due à sa longue expérience

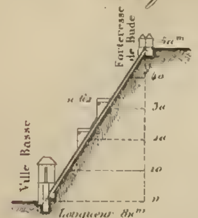
et à la rectitude de son jugement. Aussi, sa mort si inattendue, laissera parmi nous de profonds regrets, que partageront tous ceux qui ont pu apprécier son mérite et la bonté de son cœur.

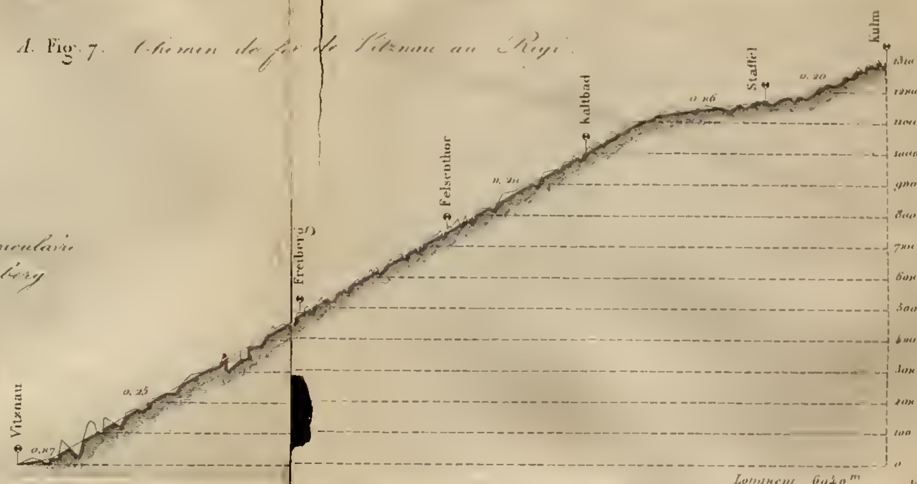
Adieu, cher Drœling, adieu!

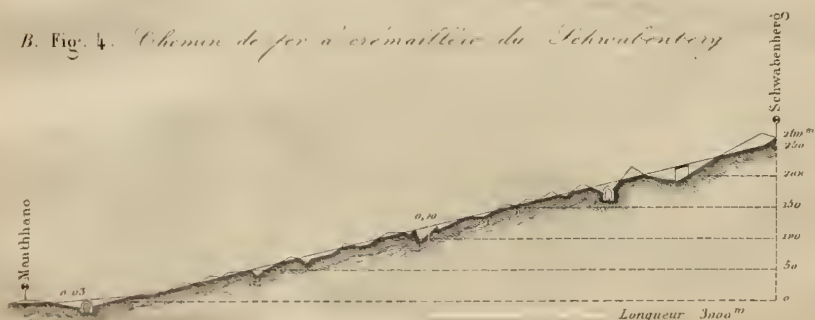




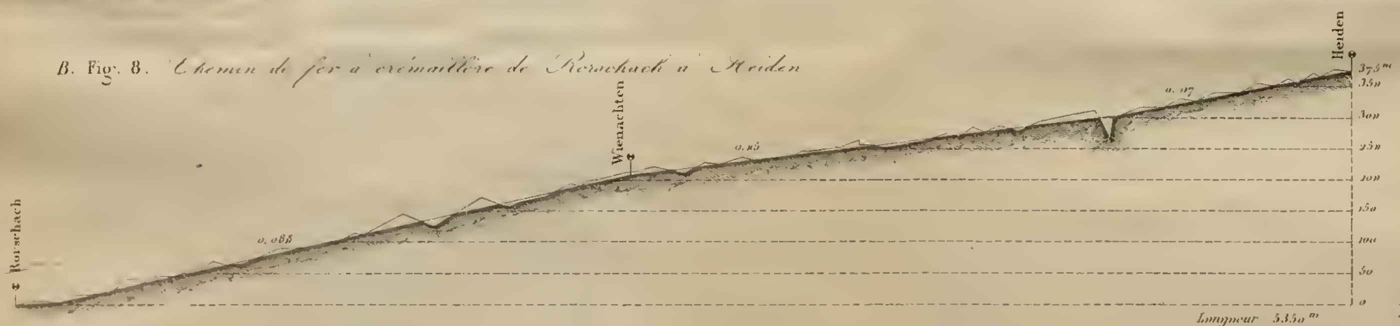


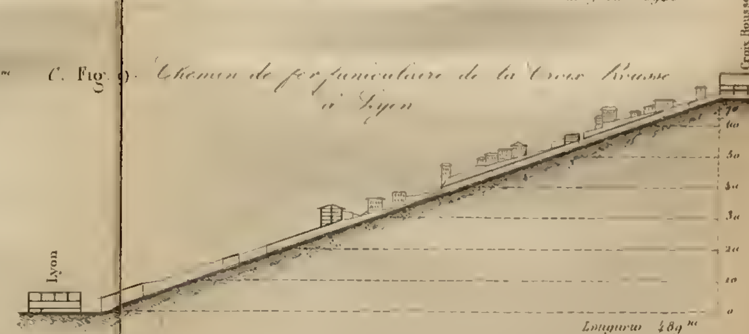


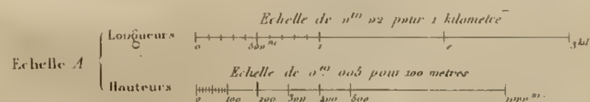


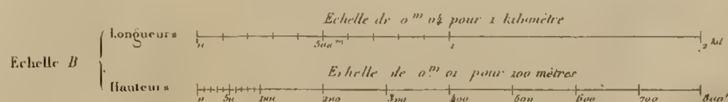


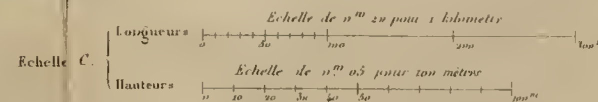






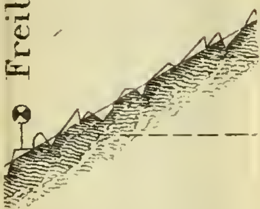






Gravé par E. Perot

r de Vit

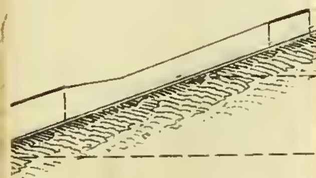


Longueur 5000.

B. Fig. 8. Chemin de fer à Heiden

9. Chemin





Echelle A. { Longueurs 0 50 ; Hauteurs 0 100

Ech

Echelle B. { Longueurs 0 ; Hauteurs 0

C. { Longueurs ; Hauteurs

N° 9

DES CHEMINS DE FER DE MONTAGNE

Communication faite le 11 avril 1874 à l'Union des ingénieurs et architectes autrichiens par M. Carl Maader, ingénieur en chef à Vienne, et publiée par le *Bulletin* de cette société (Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten Vereins).

EXTRAIT

Par M. Aug. PICARD, ancien élève de l'École Polytechnique, inspecteur du Mouvement à la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

On appelle *Chemins de fer de montagne* (Bergbahnen) les lignes qui gravissent une montagne déterminée avec une rampe d'inclinaison tout à fait extraordinaire et en suivant le relief du terrain, de manière à présenter le tracé le plus court et le plus économique. Ils peuvent servir, soit à rendre accessibles à la masse du public des plateaux élevés et à y apporter ainsi des éléments de prospérité, soit à relier deux lignes à exploitation ordinaire séparées par une chaîne de montagnes, sans avoir recours à des travaux de percement dispendieux. L'auteur se réserve d'examiner dans une prochaine communication ce dernier emploi des chemins de fer de montagne.

Ceux-ci peuvent se diviser en deux catégories, suivant leur système d'exploitation :

a) Chemins à traction funiculaire, où les voyageurs et les marchandises sont remorqués sur un plan incliné par des machines fixes, au moyen soit d'un câble en chanvre ou en fil de fer, soit d'une chaîne qui, en s'enroulant sur

des tambours, puis en se déroulant, détermine le mouvement des véhicules à la montée et à la descente.

b) Chemins où le transport des voyageurs et des marchandises s'effectue à l'aide de machines locomotives d'une construction spéciale (*).

a) **Chemins à traction funiculaire.**—Les chemins à traction funiculaire ont précédé l'invention des chemins de fer à locomotives et servaient seulement dans le principe au transport des minerais, des pierres et du charbon ; on en a depuis étendu l'emploi au service des voyageurs.

Les principaux chemins de ce système sont :

Le chemin de Bude (Hongrie),

Le chemin du Leopoldsberg, près de Vienne,

Le chemin de la Croix-Rousse à Lyon,

Le chemin de Pittsburg en Amérique.

Ils sont destinés au transport des voyageurs, et aussi en partie à celui des marchandises. Voici quelques détails sur chacun d'eux.

Chemin de Bude. — Longueur horizontale 80 mètres, hauteur à racheter 50 mètres, rampe moyenne 62 p. 100. A la station inférieure est la machine à vapeur à deux cylindres de $0^m,4$ de diamètre et de $0^m,63$ de course. Elle fait mouvoir en sens inverses, à l'aide d'un engrenage conique, deux tambours en fonte de 3 mètres de diamètre. Le câble se déroule d'un de ces tambours, passe à la station supérieure sur la gorge d'une poulie et revient s'enrouler sur l'autre tambour. Il se compose de six torons, de six brins de fil de fer chacun ; il a 25 millimètres d'épaisseur, et pèse $1^k,6$ par mètre courant. Outre un câble d'arrêt, il y a sur le véhicule un appareil de sûreté capable de l'enrayer en cas de rupture du câble.

Ce chemin, construit par M. H. Wohlfahrt, est exploité depuis 1869.

(*) Voir la planche 7.

Chemin du Leopoldsberg. — Longueur 725 mètres, hauteur verticale 343 mètres, rampe moyenne 34 p. 100. Le chemin est en ligne droite, mais le profil en long présente une contre-courbe avec deux arcs de 2,000 mètres de rayon. La machine se trouve à la station supérieure ; elle est à haute pression, à deux cylindres accouplés de $1^m,9$ de course et de $0^m,63$ de diamètre et est munie d'un frein à vapeur. Elle fait tourner deux tambours en fer de $6^m,9$ de diamètre, dont l'un enroule le premier câble, pendant que l'autre déroule le second. Ceux-ci sont formés de fils en acier fondu de 1,4 à 3 millimètres de diamètre et ont eux-mêmes 50 millimètres de diamètre. A l'extrémité de chacun d'eux est une voiture à voyageurs à deux étages et à cent places. Pour la sécurité, il y a un câble d'arrêt de même force que les câbles de traction, fixé à ses deux extrémités aux deux véhicules et passant à la station supérieure sur une poulie de 6 mètres de diamètre, de telle sorte qu'en cas de rupture d'un câble de traction, il retient en équilibre les deux voitures. Temps du trajet 5 minutes, vitesse 145 mètres par minute. Les machines ont été exécutées dans la fabrique de M. H. Sigl, d'après M. F. Feltinger, ingénieur. Ce chemin, ouvert en juillet 1873, a transporté près de 300,000 personnes dans une période d'exploitation de cent jours.

Chemin de la Croix-Rousse. — Longueur horizontale 489 mètres, hauteur verticale 70 mètres, rampe moyenne 16 p. 100. La machine à vapeur se trouve à la station supérieure. Le tambour sur lequel s'enroule le câble a un diamètre de $4^m,50$ et est muni de deux puissants freins à vapeur. Le câble a 60 millimètres de diamètre et est formé de 7 torons composés chacun de 36 brins de fil de fer de 2 millimètres de diamètre. A chaque extrémité du câble est attelé un train de 3 voitures à 108 places chacune, soit ensemble 324 places. Temps du trajet 3 minutes, vitesse 143 mètres par minute. Ce chemin transporte environ

30,000 personnes par jour, plus les objets de consommation nécessaires à une population de 40,000 habitants. Comme appareil de sécurité, outre 4 freins avec bandes d'acier entourant les jantes des roues, il y a, pour empêcher le glissement du véhicule après l'enrayage, un système de mâchoires qui saisissent le champignon du rail et le pressent énergiquement. Tout l'appareil des freins est commandé par une came que la rupture du câble déclanche, de manière à produire l'arrêt immédiat du train.

Chemin de Pittsburg. — Longueur horizontale 192 mètres, hauteur 111 mètres, rampe moyenne 58 p. 100. La machine, qui se trouve à la station supérieure, est à haute pression, avec deux cylindres de $0^m,30$ de diamètre et $0^m,6$ de course. Les tambours en fer ont $2^m,7$ de diamètre. Le câble, épais de 33 millimètres, est formé de 114 brins de fil de fer. Les appareils de sécurité sont les mêmes qu'au Leopoldsberg. A l'extrémité du câble est attelée une voiture à 25 places. Durée du trajet 1 minute et demie; vitesse 128 mètres par minute. Ce chemin présente ceci de particulier, qu'il consiste sur presque toute sa longueur en un tablier de pont, en fer, supporté par des piles en fer.

Chemin de fer à traction funiculaire avec crémaillère.

Système Riggenbach et Zschokke.

Dans les chemins dont nous venons de parler, le câble étant directement attaché au véhicule, il a à vaincre une résistance égale à la composante du poids de ce véhicule parallèle à la voie; d'où la nécessité d'avoir un câble très-fort et des poulies de grandes dimensions. Pour remédier à cet inconvénient, MM. Riggenbach et Zschokke ont imaginé un nouveau système de chemin à traction funiculaire, dans lequel le câble agit seulement pour faire tourner une poulie fixée sur un véhicule; cette poulie actionne, par l'intermédiaire d'un engrenage, une roue dentée qui engrène

avec une crémaillère fixée au milieu de la voie et produit ainsi le mouvement de translation du train. Le câble ne supporte donc qu'un effort égal à une fraction de la composante parallèle à la voie du poids du train, et il est possible, par la disposition des engrenages, de réduire à volonté cette fraction. Ainsi se trouve réalisé un grand avantage, car le câble pouvant être beaucoup plus faible, est d'autant plus flexible et plus léger. De plus, en cas de rupture, la crémaillère permet d'arrêter immédiatement le train en toute position et donne par suite une sécurité absolue. Il y a encore un autre avantage, c'est qu'on ne se sert plus de tambours, mais bien de poulies, auxquelles il est possible de donner un diamètre suffisant pour qu'on n'ait à craindre aucune détérioration du câble.

Le chemin est à deux voies et sans courbes ; au milieu de chaque voie est la crémaillère avec laquelle engrènent les roues dentées des véhicules. La superstructure de la voie est absolument semblable à celle du chemin du Rigi, sauf que la crémaillère est fixée sur deux longuerines de 180 millimètres de hauteur. Au milieu du chemin sont, à des intervalles de 9 mètres, des poulies de support pour le câble. Aux deux extrémités du chemin, il y a des poulies de 3 mètres de diamètre, et celle de la station supérieure est actionnée par un moteur hydraulique ou une machine à vapeur. Le câble est *sans fin*, et les deux brins s'enroulent chacun sur l'une et l'autre des deux poulies semblables du wagon moteur. Sur chaque voie circule un wagon moteur : l'un descend pendant que l'autre monte ; on met devant chacun d'eux, suivant les besoins, une ou plusieurs voitures à voyageurs. Aussitôt que la poulie supérieure est mise en mouvement, toutes les poulies entourées par le câble prennent un mouvement de rotation et les deux trains commencent leur trajet. Quand ils sont arrivés à leur point de destination, le mouvement de la poulie supérieure est interrompu et les deux trains s'arrêtent. La sécurité

peut être assurée par tous les systèmes de freins connus.

Le wagon moteur se compose d'un châssis et du moteur proprement dit. Le châssis, muni à sa partie antérieure de deux tampons qui poussent devant eux les voitures à voyageurs, porte les coussinets des divers arbres et repose sur deux essieux porteurs. Chacun des deux arbres sur lesquels sont calées les poulies mises en mouvement par le câble porte encore un pignon et une poulie de frein. Les deux pignons commandent une roue dentée, calée sur l'arbre principal qui porte la roue dentée engrenant avec la crémaillère. Les freins sont manœuvrés de la plate-forme du wagon au moyen d'une combinaison de leviers et de vis qui permet de les serrer énergiquement et d'obtenir facilement l'arrêt du train (*).

MM. Riggenbach et Zschokke sont sur le point de commencer la construction d'un chemin de ce système sur le Rigiplick, dans le canton de Lucerne.

b) **Chemins à machines spéciales.** — En fait de chemins de fer de montagne gravissant de fortes rampes à l'aide de machines spéciales, il existe à notre connaissance :

1° Le système Fell ;

2° Le système Riggenbach et Zschokke.

Il y a encore d'autres systèmes imaginés par MM. Wetli, Köstlin et Bassig, mais ils n'ont pas encore été réalisés dans la pratique.

Système Fell. — Le système Fell, employé comme raccordement provisoire des chemins français et italiens par

---

(*) Il nous semble inutile d'insister sur les grandes analogies existant entre le système décrit ici sous le nom de MM. Riggenbach et Zschokke et celui imaginé par M. Agudio et appliqué, à titre d'essai, à la construction d'une ligne entre Lans-le-Bourg et la Ramasse (Mont-Cenis). Voir l'ouvrage de M. *Couche*, inspecteur général des mines, tome II, p. 782 et suivantes.

(*Note du traducteur*).

le mont Cenis, est suffisamment connu. Remarquons seulement qu'au mont Cenis, les rampes les plus fortes étaient de 8,3 p. 100 et que les courbes les plus raides avaient 40 mètres de rayon.

On ne s'est pas encore proposé de réunir définitivement par un chemin de fer de montagne deux lignes de chemins de fer ordinaires séparées par une chaîne de montagnes, et dans ce cas la solution employée a toujours été de faire un tunnel, sans dépasser les rampes que les locomotives ordinaires peuvent franchir.

Mais le besoin se fait tous les jours sentir davantage de rendre facilement accessibles au public les montagnes et les plateaux élevés, où l'on ne peut arriver que péniblement à pied ou avec des bêtes de somme. A l'aide des chemins de montagne, il deviendra possible de créer de grands établissements sur ces plateaux élevés, et cette branche d'industrie intéresse vivement l'agriculture, l'industrie minière et la prospérité générale du pays.

A tous ces points de vue, les chemins à crémaillère du système Riggenbach et Zschokke ont rendu jusqu'à ce jour de grands services.

Système Riggenbach et Zschokke. — Ce système est connu et nous rappellerons seulement ici quelques dates. Déjà en 1862 M. Riggenbach avait pris un brevet en France, et c'est lui le véritable inventeur de ce système de chemins de fer et des machines construites pour l'exploiter. En 1865 MM. Riggenbach et Zschokke avaient fait un projet pour franchir le Saint-Gothard au moyen d'un chemin à crémaillère, avec rampes maximum de 5 p. 100. Le Conseil fédéral suisse, auquel avait été soumis ce projet, loua le système, mais ne le jugea pas applicable au but proposé. Alors l'idée vint à M. Riggenbach de construire un chemin semblable sur le Rigi; il obtint en 1868 la concession d'une ligne allant de Vitznau à Staffelhöhe, qui fut ouverte en 1871. Le succès extraordinaire du chemin de fer

du Rigi attira sur lui l'attention du monde entier et donna naissance à une foule d'entreprises semblables.

Suisse. — Voici le relevé des chemins de ce système en exploitation, en construction ou en projet, qui se trouvent en Suisse :

En exploitation.

1° Le chemin du Rigi de Vitznau, avec prolongement jusqu'au Kulm ;
2° Le chemin industriel d'Ostermündigen.

En construction.

3° Un chemin d'Arth au Rigi Staffel ;
4° Un chemin de Rohrschach à Heiden, sur le lac de Constance;
5° Un chemin de Lauterbrünnen à Grindelwald par la Wengernalp et la petite Scheidegg ; Lauterbrünnen sera relié à Interlaken par un chemin de fer ordinaire.

En projet.

6° Un chemin de Lauterbrünnen à Mürren ;
7° Un chemin de Grindelwald à la grande Scheidegg et à Meiringen ;
8° Un chemin d'Interlaken au Faulhorn et à la grande Scheidegg par la Scheinige Platte.

On doit s'attendre à ce que dans quelques années des chemins de fer rendront facile l'ascension des plus belles montagnes de la Suisse, en supprimant l'emploi fatigant et ennuyeux des bêtes de somme et des porteurs.

Pour donner une idée de l'importance et de l'accroissement du trafic sur les chemins déjà construits, disons seulement qu'au Rigi il y avait trois locomotives en service pendant la première année d'exploitation ; il y en a maintenant treize, et après l'achèvement du chemin du Rigi partant d'Arth, le nombre en sera porté à trente.

Aussi le Conseil fédéral, reconnaissant toute l'importance des chemins de montagne, leur a accordé, comme aux chemins de fer ordinaires, le droit d'expropriation,

et c'est là ce qui a permis d'en entreprendre et d'en construire sur une grande échelle.

Italie, Allemagne, France, Norwége. — En dehors de la Suisse, des chemins à crémaillère sont projetés, en Italie, sur le Vésuve et sur le Monte Generoso, près du lac de Côme; d'autres en Allemagne, en France, en Norwége, et la construction de ces chemins doit être commencée avant peu.

Grand-Duché de Bade. Chemin de la Königstuhl. — En Allemagne, on a même déjà commencé la construction d'un chemin à crémaillère conduisant d'Heidelberg sur la Königsthul. Le grand-duc, avec l'approbation des États, a attribué par une loi la concession de ce chemin et le droit d'exploitation à la Société internationale des chemins de fer de montagne d'Aarau, avec exemption d'impôts pour vingt-cinq ans et franchise de tous droits de timbre et autres, tels que taxes, contributions foncière et immobilière, patente et redevances communales ou cantonales.

Autriche-Hongrie. — L'Autriche-Hongrie n'est pas restée en arrière dans cette voie, et elle doit aux efforts de MM. Riggenbach et Zschokke les chemins à crémaillère du Schwabenberg à Bude et du Kahlenberg, près de Vienne.

Chemin du Schwabenberg. — La concession du Schwabenberg a été donnée à la compagnie internationale d'Aarau par le Ministère royal hongrois, conformément à la loi sur les concessions de chemins de fer, avec droit d'expropriation pendant quarante ans. La ville libre royale de Bude a cédé sans rétribution à cette compagnie les parcelles de terrain communal nécessaires à l'établissement de la voie et lui a assuré l'exemption de tous impôts pendant vingt-cinq ans. La gare de ce chemin est située près de Stadtmaierhof, à Bude; il se trouve ainsi en relation directe avec les tramways qui vont du pont suspendu à Auwinkel, et après l'achèvement du nouveau pont du Danube, près de l'île Marguerite, il sera relié à Pesth par une ligne de

tramways. La ligne va directement de Stadtmaierhof au plateau du Schwabenberg, séjour d'été favori des habitants de Bude-Pesth, avec une rampe continue de 10 p. 100. Il a 3 kilomètres de longueur et rachète une différence de niveau de 260 mètres. La ligne sera d'abord construite à une voie seulement, mais on a ménagé au milieu du parcours une voie d'évitement, de manière à permettre aux trains de partir en même temps de chaque extrémité. La superstructure de la voie est la même qu'au Rigi. Les locomotives sont à chaudière horizontale et remorquent un train de trois véhicules. Ce chemin, dont la construction dirigée par un ingénieur suisse, M. Cathry, a été commencée dans l'été de 1873, a dû être livré à l'exploitation au commencement de juin 1874.

Chemin du Kahlenberg. — La concession du chemin du Kahlenberg a été donnée par le Ministère I. R. du commerce à une société pour une durée de quarante ans, mais sans droit d'expropriation et sans aucune exemption de taxes, impôts, droits, etc. Aussitôt la société constituée, on commença, en mai 1873, la construction de la ligne, qui fut achevée dans le court délai de dix mois, et conduit maintenant de Nussdorf, par Grinzing et Krapfenwald, sur le plateau de Kahlenberg. Longueur horizontale 5,000 mètres, hauteur 280 mètres, rampes minimum, 3 p. 100, maximum, 10 p. 100. Rampe de 10 p. 100 sur une longueur continue de 1 kilomètre. Ligne à double voie.

L'absence du droit d'expropriation fut cause des plus grands embarras, et la compagnie a été souvent obligée de payer des prix vraiment exorbitants soit aux particuliers, soit aux communes qui, devant plus tard profiter largement du chemin de fer, avaient cependant tout intérêt à favoriser cette entreprise.

L'auteur entre à ce sujet dans de grands détails qu'il nous semble inutile de reproduire. En un mot, les acquisitions de terrains pour ce chemin de 5 kilomètres s'élè-

vent à la somme incroyable de près d'un demi-million de florins (environ 1 million de francs); il n'est pas probable qu'il se trouve jamais une compagnie disposée à renouveler cette expérience et à entreprendre, sans jouir du droit d'expropriation, la construction d'un chemin de fer.

La superstructure de la voie est semblable à celle du Rigi. Cependant le profil des rails a été un peu renforcé; ils pèsent 20 kilogrammes par mètre courant. Au Rigi, pour une même charge d'essieux et un même écartement de traverses, le poids du mètre courant de rails est seulement de 17 kilog. 2/3, et après une exploitation de près de quatre ans (*), les rails de ce modèle n'ont encore éprouvé aucune détérioration. La crémaillère consiste en deux fers laminés en forme de ⊐, divisés en morceaux de 3 mètres de longueur, et maintenant les dents en fer forgé rivées à froid; elle pèse 55 kilogrammes par mètre courant. Les traverses de chêne, espacées de $0^m,75$, sont boulonnées de chaque côté à des longuerines en mélèze, de manière à former un châssis solide. Tous les 100 mètres, deux des traverses sont solidement maintenues par des fondations en maçonnerie, afin d'empêcher l'entraînement longitudinal de la voie. Le passage des trains d'une voie sur l'autre se fait au moyen de changements fort ingénieux installés aux stations extrêmes.

Les locomotives, plus puissantes que celles du Rigi et construites par M. Riggenbach, ont leur chaudière horizontale. Elles remorquent un train composé de trois voitures à cinquante-quatre places, semblables à celles du Rigi, et peuvent marcher avec toute sécurité à la vitesse de 1 mille et demi (environ 11 kilomètres) à l'heure. Actuellement l'exploitation du Kahlenberg se fait avec six machines, dix-huit voitures et quatre wagons; on peut avec

(*) Ou pour mieux dire après quatre périodes d'exploitation de six mois environ chacune. (*Note du traducteur.*)

ces ressources transporter douze à quinze mille personnes par jour. Il y a pour mettre le matériel à couvert, à Nussdorf, une remise pour six machines et dix-huit véhicules, et au Kahlenberg, une remise pour deux machines et six véhicules.

Les travaux ont été très-exactement surveillés et les plans de détail minutieusement examinés par les agents du contrôle de l'État. Toutes les prescriptions applicables à l'exploitation des chemins de fer ordinaires ont été strictement imposées au chemin du Kahlenberg, jusqu'à obliger tous les trains, dont la durée du trajet est d'une demi-heure, à être munis de boîtes de secours portatives et de tous les appareils de sauvetage. L'auteur regarde cependant l'exploitation des chemins à crémaillère comme exempte de tout danger et croit qu'on n'aura jamais occasion de se servir de ces objets. Les trains doivent être signalés avec des appareils électriques et en outre être annoncés aux stations et maisons de garde par les signaux électriques à cloches. Depuis le 7 mars 1874, date à laquelle l'ouverture de la ligne avait été autorisée, le chemin du Kahlenberg est en exploitation régulière.

Chemins industriels.

Chemin d'Ostermündigen. — Parmi les différentes applications que l'on peut faire des chemins à crémaillère, il faut citer la ligne d'Ostermündigen, véritable type des chemins industriels en pays de montagne, réalisé par l'emploi simultané des chemins à locomotives ordinaires avec le système Riggenbach. Il s'agissait de relier Ostermündigen, station du chemin de fer Central-Suisse, avec d'importantes carrières de pierre situées sur un plateau élevé. La voie est d'abord horizontale sur 1,500 mètres, puis elle présente une rampe de 10 p. 100 sur 500 mètres de longueur et redevient ensuite horizontale sur le plateau, où elle se divise

en embranchements desservant chaque carrière. La partie en rampe de 10 p. 100 est seule munie d'une crémaillère. La machine, qui fonctionne sur les paliers comme une machine ordinaire, porte une roue dentée dont l'arbre moteur est commandé par un levier à excentrique, à l'aide duquel on fait engrener la roue avec la crémaillère sur la rampe. Les wagons sont ceux du chemin Central-Suisse.

Chein d'Hemiden. — Le chemin à crémaillère de Rohrschach à Heiden, près du lac de Constance, doit aussi être continué sur le plateau supérieur par une ligne de chemin de fer ordinaire destinée surtout à des transports industriels, et par suite spécialement aménagée pour le trafic des marchandises.

Traversée du Simplon. — Actuellement MM. Riggenbach et Zschokke étudient un projet pour la traversée du Simplon par un chemin combiné alternativement à crémaillère et à exploitation ordinaire, destiné à servir de jonction principale entre la France et l'Italie. A en juger par le devis des frais d'établissement et les produits présumés, ce projet a de grandes chances d'être mis à exécution.

L'auteur termine en émettant le vœu que le gouvernement autrichien facilite à MM. Riggenbach et Zschokke la mise à exécution des projets qu'ils ont faits pour l'établissement de chemins à crémaillère sur le Gaisberg, près de Salzbourg, sur le Schafberg, près d'Ischl, et sur le Schneeberg, près de Gloggnitz.

Le gouvernement suivra sans doute l'exemple donné par l'étranger et le pays d'au delà de la Leitha (Hongrie), et considérant que les chemins à crémaillère sont d'un intérêt public, il leur accordera non-seulement le droit d'expropriation, sans lequel personne ne songerait à construire de nouvelles lignes après la triste expérience du Kahlenberg, mais encore d'autres faveurs telles que exemptions de droits, d'impôts, de contributions, etc.

Maintenant, dit encore l'auteur, qu'on n'accorde des con-

cessions de chemins de fer qu'à des personnes dignes de confiance et capables de fournir les capitaux nécessaires à leur construction, maintenant qu'on a éliminé ces spéculateurs qui, avant le *crach* (*), avaient obtenu des concessions dans le seul but d'en trafiquer et sans avoir jamais songé un seul instant à construire les lignes qu'ils réclamaient; il faut espérer, dans l'intérêt de notre beau pays, de la science et de la civilisation que notre devoir est de faire progresser, qu'il sera permis à MM. Riggenbach et Zschokke de doter nos belles Alpes d'Autriche et du Salzkammergut de chemins à crémaillère et, en les rendant ainsi accessibles à tous, de nous faire participer comme les autres pays aux bienfaits de toutes sortes de ces chemins de fer de l'avenir.

(*) Les Autrichiens donnent ce nom à la crise financière qui a si fort éprouvé la bourse de Vienne en 1873. (*Note du traducteur.*)

N° 10

EXPLOSION

D'UN BOUILLEUR D'UN GÉNÉRATEUR A VAPEUR A LA FORGE, COMMUNE DE MOHON (ARDENNES).

Rapport de l'ingénieur des mines.

Le 23 juin 1873, vers sept heures du matin, une explosion de chaudière à vapeur, qui heureusement n'a causé que des dégâts matériels peu considérables, a eu lieu à la clouterie mécanique de M. Antoine Regnault, à la Forge, commune de Mohon. L'un des bouilleurs réchauffeurs latéraux (celui du bas) d'un générateur établi suivant le système Farcot s'est ouvert sur une longueur de $2^{m},20$, a démoli une partie du fourneau en projetant les briques en avant et en laissant échapper des torrents de vapeur et d'eau chaude. Après un premier moment de panique, on constata qu'aucun ouvrier n'avait été atteint, la projection s'étant faite en avant du foyer, dans la direction opposée à celle des ateliers.

La chaudière dont il s'agit se compose d'un corps cylindrique de $9^{m},85$ de longueur et 1 mètre de diamètre, surmonté d'un réservoir de vapeur de $0^{m},80$ de hauteur et $0^{m},70$ de diamètre et de deux bouilleurs réchauffeurs cylindriques, placés latéralement, qui ont chacun $10^{m},50$ de longueur et $0^{m},60$ de diamètre. La capacité totale du générateur est de $13^{m^3},975$ et sa surface de chauffe de 50 mètres carrés, savoir 15 mètres carrés pour la chaudière et 35 mètres carrés pour les deux bouilleurs. Cette chaudière a été construite au mois de décembre 1864; timbrée d'abord à 5 atmosphères et demie, elle a été rééprouvée le

30 mars 1867 et timbrée à 6 kilogrammes. Elle était munie de tous les appareils de sûreté prescrits et en bon état.

Le foyer est établi sous le corps cylindrique, dont la moitié inférieure est léchée par les produits de la combustion ; ceux-ci continuent tout autour du bouilleur supérieur, qui est à peu près au même niveau, et retournent à la cheminée par une troisième course autour du bouilleur inférieur. L'extrémité de la chaudière la plus éloignée du foyer est en communication avec l'extrémité correspondante du bouilleur supérieur par un tube formant siphon, qui est monté sur le dessus de ce bouilleur et plonge dans la chaudière au-dessous du niveau auquel l'eau doit y être maintenue. L'autre extrémité du bouilleur supérieur communique avec la tête du bouilleur inférieur par un tuyau extérieur à la maçonnerie du fourneau.

L'eau d'alimentation arrive du même côté dans le bouilleur inférieur, tandis qu'en suivant le principe du système Farcot, le tuyau d'alimentation devrait déboucher à l'autre bout du bouilleur inférieur, pour que l'eau marchât constamment en sens contraire des produits de la combustion.

La déchirure s'est produite sur la première virole du bouilleur inférieur, du côté de la communication avec le bouilleur supérieur. Elle s'est faite en ligne droite, suivant la génératrice supérieure, sur une longueur de $2^m,20$ et, à chaque extrémité, s'est continuée un peu obliquement sur environ $0^m,15$ du côté gauche. La virole a environ $2^m,50$ de longueur entre les rivures. La déchirure paraît avoir commencé vers le tiers de la longueur de la virole, sur un point où l'épaisseur de la tôle, qui est normalement de 8 à 9 millimètres, était réduite à moins de 1 millimètre. Tout le dessus de la virole a également perdu de son épaisseur, dans une proportion variable, mais beaucoup moindre. Cet amincissement ne s'étend d'ailleurs qu'à une faible distance de la génératrice supérieure, puisque des trous percés dans la tôle le long d'une génératrice distante de $0^m,20$

de cette première ont fait reconnaître une épaisseur variant de 7 à 8 millimètres. La tôle, qui est restée à peu près lisse à l'extérieur, est gravée et rongée à l'intérieur comme par l'action d'un acide. C'est cet amincissement exagéré de la tôle qui ne lui a plus permis de résister à la pression et a déterminé l'explosion. Elle devait se produire d'un moment à l'autre sans que rien d'anormal dans la marche de la chaudière pût la faire craindre.

La chaudière avait été nettoyée un mois environ avant l'accident. On la vide ordinairement tous les trois mois. Le bouilleur inférieur était recouvert sur deux tiers de sa circonférence, à sa partie inférieure, d'une couche de tartre de 2 millimètres d'épaisseur qui se détachait facilement de la tôle. Ce tartre paraît être composé presque entièrement de carbonate de chaux et d'oxyde de fer.

Le feu avait été rallumé, comme d'habitude, vers trois heures du matin, le manomètre marquant encore une pression de 2 à 3 atmosphères. La machine avait été mise en marche à cinq heures, et environ un quart d'heure avant l'accident, on avait alimenté avec l'injecteur Giffard qui fonctionne deux fois par heure. La consommation de houille est de 1.300 à 1.400 kilogrammes par jour, de deux tiers de houille maigre de Charleroi avec un tiers de houille grasse de Liége, ce qui équivaut à peu près à 2 kilogrammes par heure et par mètre carré de la surface de chauffe totale de la chaudière. On peut considérer cette allure comme très-modérée, et peu capable de donner un coup de feu à une surface mouillée et déjà fort éloignée du foyer.

Nous croyons que la cause première de l'accident, la détérioration de la tôle, est due à un vice de construction dans la communication entre les deux bouilleurs.

Le tuyau qui établit le passage de l'eau du bouilleur inférieur au bouilleur supérieur est fixé sur les fonds en fonte qui ferment ces bouilleurs du côté du foyer. L'ou-

verture de ce tuyau sur le bouilleur inférieur a sa partie supérieure de 8 à 9 millimètres en contre-bas de la partie supérieure du bouilleur. On comprend que la vapeur qui se produit dans ce bouilleur vient d'abord s'accumuler dans l'espace qui se trouve en contre-haut du tuyau de communication, avant de pouvoir se dégager par celui-ci. L'oxygène de l'air tenu en dissolution par l'eau se joint à la vapeur et exerce intérieurement une action oxydante qui est singulièrement favorisée par la présence de l'acide carbonique, ainsi qu'il résulte d'expériences faites par la société industrielle de Mulhouse; or nous avons reconnu que l'eau de la rivière de Vence, employée pour l'alimentation de la chaudière de la Forge, contient 4 millièmes en volume d'acide carbonique. Il faut tenir compte aussi des variations de température qu'éprouve le bouilleur entre deux alimentations successives. Nous avons cherché à évaluer ces variations en exécutant quelques expériences sur une chaudière installée dans des conditions presque identiques et consommant à peu près le même poids de houille par mètre carré de surface de chauffe. Nous avons constaté que la température de la fumée était de 330° à l'entrée des réchauffeurs, 200° au passage du premier au second bouilleur et 160° à la sortie; mais comme la température mesurée est une moyenne entre celles des divers filets gazeux qui suivent les carneaux, elle était plus considérable à la partie supérieure qu'à la partie inférieure, et l'on peut admettre qu'elle atteignait 230 à 240° au point où les gaz chauds passent du carneau supérieur au carneau inférieur. Il est à remarquer que ce point correspond à celui du bouilleur inférieur où la tôle est le plus complétement rongée, et que c'est là que le courant des gaz chauds devait le frapper avec le plus d'intensité et dans une direction à peu près normale à la surface chauffée.

Pendant l'alimentation, les vapeurs se condensent et la température s'abaisse rapidement à 164°, correspondant à

celle de l'eau sous la pression de 6 kilogrammes. Ces changements brusques de température sont certainement accompagnés de contractions et de dilatations qui, quoique relativement faibles, se renouvellent assez fréquemment pour fatiguer peut-être le métal et lui faire perdre de sa qualité. Mais si l'on ne veut pas attribuer une influence prépondérante à cette cause, on ne peut au moins contester que les oscillations du niveau de l'eau dans le bouilleur ne favorisent l'entraînement des parties attaquées, et, mettant à nu la surface du métal, ne facilitent l'action corrosive exercée par l'oxygène et l'acide carbonique. Il en résulte que la tôle se ronge progressivement, et qu'au bout d'un certain temps elle se trouve assez amincie pour céder à la pression.

D'après les essais que nous avons faits au laboratoire de Mézières, l'eau d'alimentation n'a d'ailleurs aucune réaction acide. Elle titre 20° 1/2 à l'hydrotimètre et contient, outre 4 centimètres cubes d'acide carbonique, 195 milligrammes de carbonate de chaux et 8 milligrammes de sels de magnésie par litre ; les sulfates et les chlorures n'y sont qu'à l'état de traces. C'est donc une eau de bonne qualité, et qui n'est pas de nature à former des dépôts incrustants.

Nous devons ajouter encore que le nerf de la tôle était disposé suivant la longueur des bouilleurs, et non dans le sens transversal, comme il convient de faire pour obtenir la plus grande résistance, et que, pendant l'hiver rigoureux de 1870-1871, cet appareil est resté plein d'eau et a subi les atteintes de la gelée, ce qui a dû beaucoup fatiguer le métal. La chaudière a subi pour ce fait une réparation qui n'a pas paru utile pour les bouilleurs. Quoi qu'il en soit, nous pensons que ces faits, par eux-mêmes, ont eu peu d'influence sur l'explosion du bouilleur.

Nous concluons qu'il faut attribuer cet accident à un vice de construction de l'appareil, qui ne permettait pas à la vapeur qui pouvait se former dans le bouilleur inférieur

de s'en dégager facilement pour se rendre au réservoir de vapeur.

Le moyen préventif est tout indiqué. Il consiste à placer l'ouverture de la communication entre les deux bouilleurs, tout à fait à la partie supérieure du bouilleur inférieur, ou bien, pour les chaudières déjà installées, à faire communiquer ce bouilleur avec le réservoir de vapeur par un petit tube. Dans le premier cas, on évite complétement la formation d'un matelas d'air et de vapeur ; dans le second, on envoie les gaz dans le dôme où ils sont inoffensifs.

Le rapport présenté à la *Commission centrale des machines à vapeur*, dans sa séance du 23 septembre 1874, par M. l'ingénieur en chef Hanet-Cléry, résume les faits contenus dans le rapport de M. l'ingénieur ordinaire Nivoit, et se termine par quelques observations dont voici la substance :

Les explosions de réchauffeurs dans des chaudières à bouilleurs latéraux ne sont pas rares. Elles sont dues le plus souvent à la formation d'une chambre d'air et de vapeur au-dessus, ou dans le voisinage, du tuyau de communication alimentaire. On se rappelle en particulier l'explosion arrivée le 16 janvier 1871 à un réchauffeur de la machine du puits Monterrad (Loire), laquelle a été l'objet d'un rapport inséré dans les *Annales des mines*.

Il y a lieu, dans le cas présent, de remarquer cette usure d'une partie de la chaudière arrivant, sans avoir été aperçue, à embrasser la presque totalité de l'épaisseur de la tôle sur 2 mètres de longueur environ. En général, la surveillance des chaudières, au point de vue de l'usure du métal, n'est pas suffisamment sérieuse. On se borne à faire faire des nettoyages périodiques ou des piquages, quand les dépôts atteignent une épaisseur notable; ce travail est fait le plus souvent par des ouvriers peu compétents, par-

fois même par des enfants. La responsabilité des industriels pouvant se trouver engagée quand l'accident provient du mauvais état de la chaudière, il y aurait intérêt pour eux à les faire visiter plus soigneusement. Cette visite devrait être faite par des ouvriers chaudronniers qui s'assureraient du degré de solidité que conservent les différentes parties de la chaudière. On pourrait alors remédier à temps aux détériorations causées par les mauvaises dispositions de construction ou les vices originels de fabrication.

La commission approuvant les observations du rapporteur, a, sur sa proposition, émis l'avis :

1° Que l'accident est dû à une disposition défectueuse du générateur, principalement de la communication établie entre les deux tubes réchauffeurs, laquelle a eu pour résultat la formation intermittente d'une chambre remplie d'air et de vapeur, dans une partie en contact avec les gaz de la combustion dont la paroi supérieure a été peu à peu corrodée jusqu'au point de ne pouvoir résister à la pression normale de marche;

2° Qu'il y aurait intérêt, en raison des circonstances de l'accident et des faits contenus dans le rapport de M. Nivoit, de publier ce rapport dans les Annales des mines et des ponts et chaussées, avec l'avis de la Commission, en rappelant à cette occasion, que si un vice de construction engage la responsabilité du fabricant, la responsabilité du propriétaire peut également être mise en jeu, dans le cas, par exemple, où l'accident eût pu être évité moyennant une surveillance plus efficace de l'état d'entretien des chaudières, et qu'à ce point de vue il est nécessaire, surtout pour des chaudières déjà anciennes, que des visites très-soignées soient faites par des ouvriers compétents, de manière à faire reconnaître, dans la mesure du possible, le degré de solidité des différentes parties des appareils.

N° 11

BATARDEAU A FERMETTES MOBILES
ET MADRIERS HORIZONTAUX
ANNEXÉ EN 1867 AU BARRAGE DE JOINVILLE.

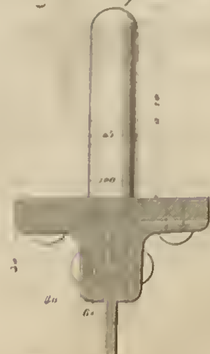
NOTE

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

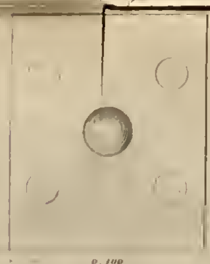
Dans une notice consacrée au barrage de Joinville et plus spécialement au système de barrage de M. Desfontaines (*Ann.* 1868, 2e sem.), nous avons signalé incidemment une application nouvelle des fermettes mobiles de M. Poirée : nous avons indiqué (p. 501 et Pl. 176, *fig.* 2 et 5) des dispositions prises pour constituer, au besoin, en amont des *hausses à tambour*, un *batardeau* formé de madriers horizontaux et de fermettes, à l'abri duquel, sans faire un seul instant chômer la navigation de la Marne ni la grande usine hydraulique de la ville de Paris, on peut visiter et entretenir tous les engins du barrage principal. Cet ouvrage accessoire, complémentaire, ayant plusieurs fois fonctionné depuis 1867 et entièrement répondu à ce qu'on en attendait, nous nous proposons de le faire aujourd'hui connaître plus amplement.

Le batardeau devait présenter, comme les hausses, $1^m,10$ de hauteur au-dessus de la plate-bande d'amont du déversoir et 63 mètres de longueur totale. Nous proposâmes d'en faire un petit barrage Poirée, avec des fermettes se couchant dans une entaille du seuil : pour trouver assez de

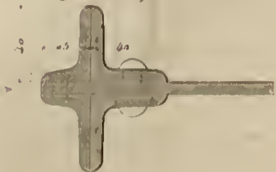
B Fig. 6 Coupe sur AB



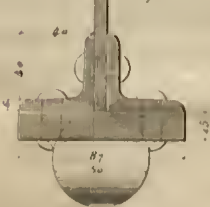
B Fig. 7. Plan du goujon et de son patin



B Fig. 8. Coupe sur EF



B Fig. 9 Coupe sur GH





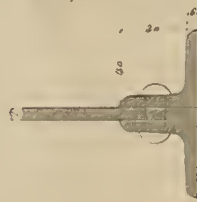
A Fig. 1 Élévation d'une fermette



B Fig. 11 Coupe sur UV

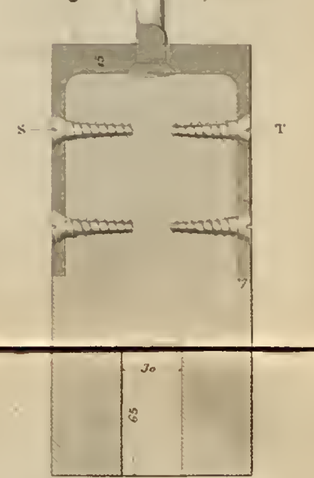


B. Fig. 10. Coupe sur CD

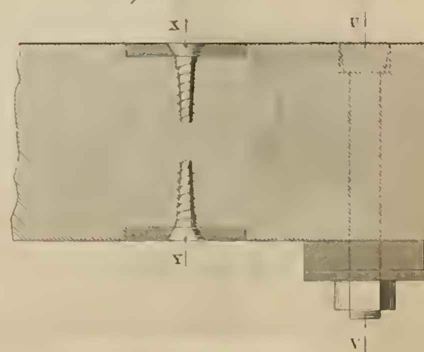


Partie extrême des madriers

B. Fig. 12 Coupe sur XY

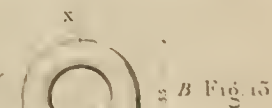


Coupe horizontale sur ST

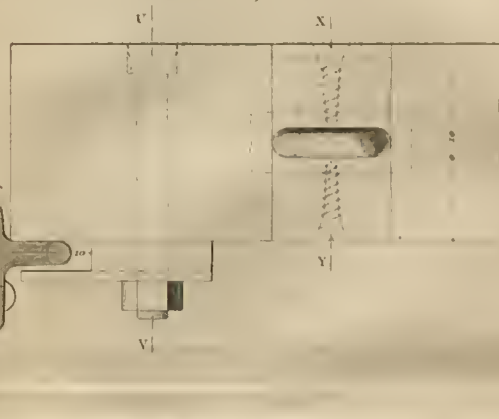


Élévation d'aval

B Fig. 13



B. Fig. 14 Plan supérieur

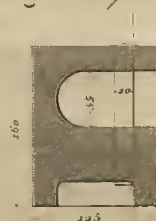


Coussinet d'aval

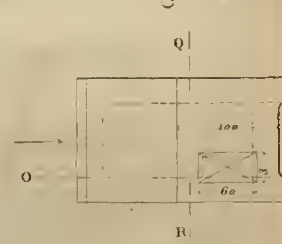
Coupe sur OP



A. Fig. 2. Coupe sur QR

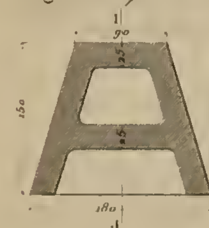


A. Fig. 3 Plan

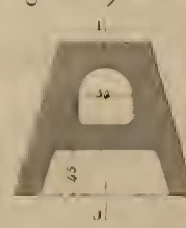


Coussinet d'amont

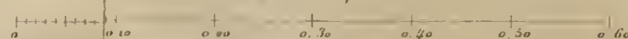
A Fig. 4 Coupe sur KL



A Fig. 5. Coupe sur MN



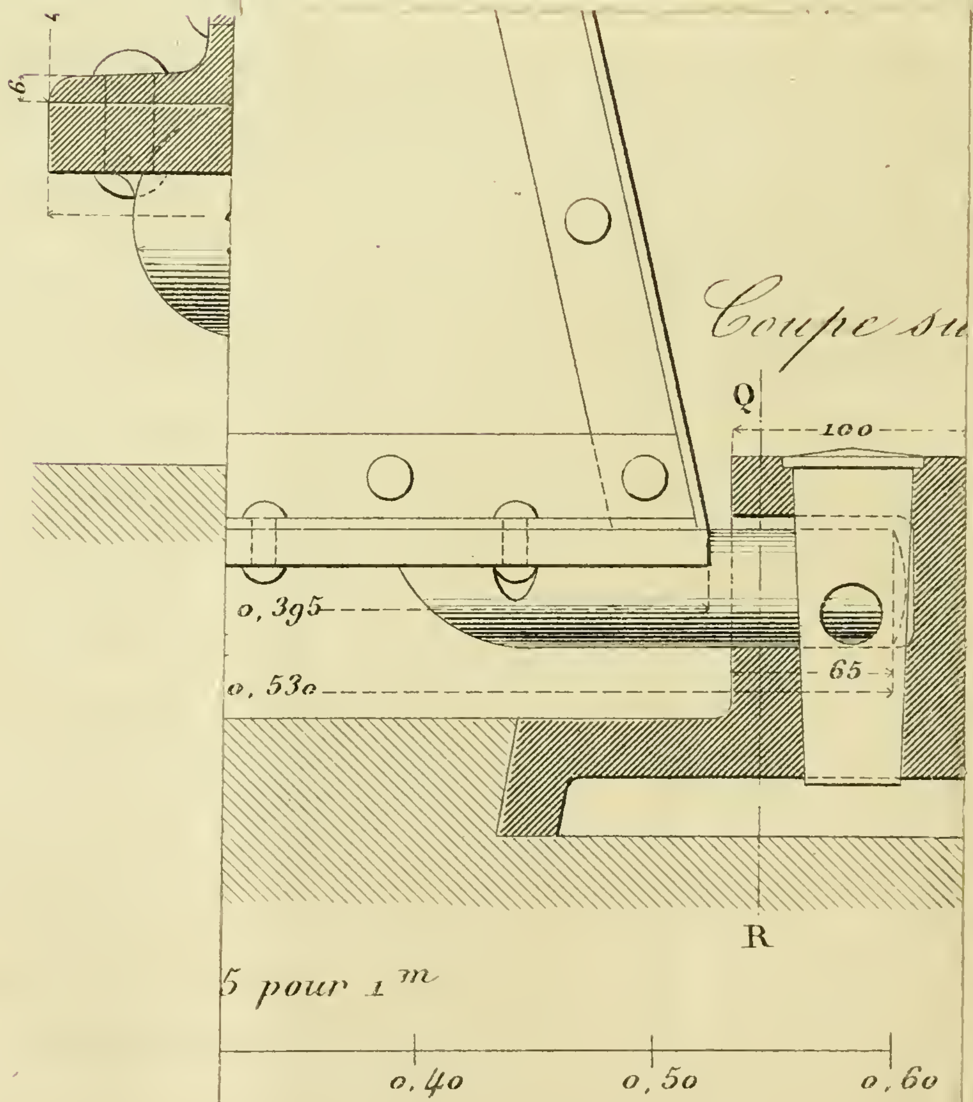
Échelle A de 0m,15 pour 1m



Échelle B de 0m,30 pour 1m



Gravé par E. Pérot


Coupe su
Q
100
o, 395
o, 530
65
R
5 pour 1 m
o,40
o,50
o,60

place, il suffisait de porter de $0^m,80$ à $1^m,20$ la largeur de la plate-bande. Mais, au lieu d'aiguilles verticales juxtaposées, il nous sembla que des madriers horizontaux, superposés et appuyés par leurs extrémités contre les montants de deux fermettes consécutives, seraient à la fois plus étanches et plus commodes à manœuvrer avec précision. M. Poirée avait pu n'y pas songer, attendu que les fers forgés dont on s'est exclusivement servi d'abord pour composer les fermettes ne pouvaient guère offrir une face d'appui assez large (*). Mais cette difficulté avait disparu depuis l'introduction des fers corniers et autres. C'est ainsi que l'on avait, dans la construction des portes métalliques de l'écluse de Charenton (1864), très-simplement formé les *coulisses* dans lesquelles glissent les vannes (**). Pour le batardeau de Joinville, on pouvait, plus économiquement encore, appuyer les madriers contre de simples *feuillures*, ainsi d'ailleurs que cela se pratique souvent pour les poutrelles horizontales ou les vannes qui s'appuient contre des poteaux en bois.

Les madriers pouvant ici se poser et s'enlever à la main, du haut d'un batelet qui stationne en eau calme, toute passerelle était inutile : nous réduisîmes la largeur des fermettes à $0^m,12$ au sommet et $0^m,40$ à la base. Elles ne comportaient naturellement pas d'évidements. Une feuille de tôle de 7 millimètres d'épaisseur, à peu près triangulaire, est flanquée de deux cornières sur sa rive inclinée d'aval et de quatre autres adossées sur la rive verticale d'amont (Pl. 8, *fig.* 10, 8 et 14). A la base sont également deux cornières, par lesquelles la fermette s'attache, se rive sur

---

(*) Le barrage d'Andrésy, construit sur la basse Seine en 1846-1847, est, à notre connaissance, le premier où l'on ait employ des fers à té. Ces fers avaient 6 centimètres de largeur et 3 de hauteur; leur épaisseur était de 8 millimètres pour la partie plate et 16 pour la partie saillante.

(**) Voir *Ann.* 1865, 1er sem., p. 145., Pl. 101 et 102.

les deux tourillons d'amont et d'aval. — Pour réunir les fermettes entre elles et les maintenir debout, une simple tringle cylindrique, terminée par deux œils, suffisait ici.

Eu égard au peu de hauteur de la retenue, on porta à 3 mètres l'espacement des fermettes et par suite la longueur des madriers, en donnant à ceux-ci $0^m,10$ d'épaisseur et $0^m,22$ de hauteur. La manœuvre pouvait s'opérer de bien des façons. Chaque madrier reçut, sur sa tranche supérieure et vers ses deux extrémités, un anneau qui permît de le saisir avec des crochets ; cet anneau se loge ensuite dans une cavité pratiquée à cet effet dans l'épaisseur du madrier supérieur.

Chaque madrier reçut aussi, vers ses deux extrémités, mais sur sa face d'aval, une bande de tôle maintenue à distance par deux tasseaux en fer, sorte d'agrafe par laquelle le madrier embrasse la saillie de la double cornière de la fermette. Cette saillie sert ainsi à la fois de guide et d'appui : les madriers se mettent en place sans tâtonnement et sans déviation possible.

La Pl. 8 donne tous les autres détails de l'exécution.

Le décompte définitif des ouvrages exécutés à l'entreprise, par la maison Joly (d'Argenteuil), a été arrêté ainsi qu'il suit en 1867 :

INDICATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX de l'unité.	DÉPENSES par article.
		francs.	francs.
Bois de chêne de première qualité équarri à vives arêtes.	$6^{mc},885$	250,00	1.721,25
Fers de sujétion.	1.517^k	1,50	2.275,50
Gros fers forgés.	114^k	0,90	102,60
Fers laminés.	438^k	0,70	306,60
Vis à bois de $0^m,045$ de longueur et $0^m,008$ de diamètre.	840	0,10	84,00
Fonte de sujétion.	537	0,50	268,50
Goudronnage à deux couches sur les bois.	$204^{mq},83$	0,50	102,41
Total.			4.860,86

La dépense *totale* peut se subdiviser ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	POUR L'UNITÉ.		NOMBRE de pièces semblables ou développement total.	POUR LE TRAVAIL entier.	
	Poids.	Valeur.		Poids.	Valeur.
	kilog.	francs.		kilog.	francs.
Fermettes (à la pièce).	46,10	67,10	20	922,50	1.342,20
Coussinets (à la paire).	27,75	14,40	20	555,50	288,50
Tringles de réunion des fermettes (au mètre courant).	3,90	5,70	63^{m}	248,00	361,00
Madriers avec leurs garnitures (au mètre courant).	»	23,40	63	»	2.736,00
Entailles pratiquées dans la pierre de la plate-bande (pierre d'Euville), par fermette.	»	13,00	20	»	260,00
Scellements (par fermette).	»	1,00	20	»	20,00
Dépenses diverses: épuisements, nettoyages, etc.	»	»	»	»	42.30
		Total.			5.050,00

Défalcation faite d'un rabais d'adjudication de 3 p. 100 et d'une retenue de 1 p. 100 opérée au profit des Asiles du Vésinet et de Vincennes, le batardeau annexé au barrage de Joinville a coûté $4.975^{f},03$, soit par mètre courant $\frac{4\,975^{f},03}{63} = 79$ francs.

Paris, le 29 décembre 1874.

CHRONIQUE.

Mars 1875.

N° 12

Amélioration de l'embouchure du Mississipi. — Le *Journal officiel* du 6 mars annonce une importante décision prise, le 18 février, par le Congrès américain pour l'amélioration de l'embouchure du Mississipi. Écartant le projet d'un canal maritime analogue à notre canal Saint-Louis, le Congrès vient d'autoriser M. James B. Eads (l'ingénieur en chef du pont construit, de 1869 à 1874, à Saint-Louis sur le Mississipi) à tenter l'amélioration d'une des bouches du fleuve par le système des digues longitudinales. Une subvention de 40 millions de francs lui est accordée à cet effet. Mais elle ne sera versée qu'au fur et à mesure de l'approfondissement du chenal, dont M. Eads croit pouvoir doubler le mouillage, en le portant à 30 pieds ($9^{m},15$). On trouvera, dans la note adressée de Washington au *Journal officiel*, des renseignements plus détaillés sur les conditions techniques et financières de ce grand marché à forfait.

Le touage sur le Saint-Laurent. — On sait que la ville de Montréal est située sur le Saint-Laurent, à 1.000 kilomètres environ de son embouchure. Les navires remontent à la voile dans ce fleuve jusqu'à Québec, à 300 kilomètres en aval de Montréal ; ils doivent être remorqués dans cette

dernière partie de leur trajet, qui ne présente de difficultés réelles qu'à 3 kilomètres environ de Montréal; là, par suite de diverses circonstances, on rencontre des courants qui atteignent des vitesses de 10 à 14 kilomètres à l'heure, et qui rendent le remorquage difficile. Après avoir étudié plusieurs projets pour l'amélioration de cette partie de la rivière, on se décida à essayer l'emploi du touage sur chaîne noyée tel qu'il est usité sur la Seine et sur l'Oise; les conditions étaient tout autres, car il s'agissait de remorquer des navires de 1.500 à 3.500 tonneaux, ayant un tirant d'eau de 6 à 7 mètres; cependant on résolut de tenter un essai.

La chaîne, dont la longueur est de 2.100 mètres environ, longueur suffisante pour franchir les rapides, s'enroule neuf fois sur deux cylindres de $0^m,60$ de diamètre, reposant à leurs deux extrémités sur les faces d'un solide bâti en fonte; ces cylindres sont mus par l'intermédiaire de roues calées à chacune de leurs extrémités : les deux roues d'un même côté sont couplées et actionnées par une machine à vapeur spéciale.

La chaîne fut posée en juillet 1873 et le toueur fonctionna sans interruption, sans avarie, jusqu'à la clôture de la navigation en novembre 1873, en rendant des services réels; la vitesse est de 6 à 8 kilomètres pour 55 à 60 révolutions par minute. La dépense de combustible est faible.

Le projet de cet appareil est dû à M. A. G. Nish, aidé du capitaine Wright.

La dépense s'est élevée, pour le toueur et la chaîne, à 125.000 francs.

Les tramways de Moscou. — D'après des renseignements fournis par les *Annales industrielles*, la première ligne des tramways de Moscou a été ouverte au mois d'août dernier et l'on espère qu'au printemps de 1875 le réseau complet (92 kilomètres) sera en pleine exploitation.

Le colonel de Sytenko, chargé des études, a adopté le rail Vignolé posé sur traverses; le rail est en acier, de 18 kilogrammes, haut de $0^m,125$, ce qui est suffisant pour permettre sur les traverses la juxtaposition d'un pavé à côté du rail. Les pavés qui bordent les rails à l'intérieur de la voie présentent une légère entaille pour permettre le passage des boudins des roues. Les rails sont distants de $1^m,524$; l'entre-voie est de $1^m,346$. Les rails sont fixés par des crampons sur des traverses espacées de $1^m,300$. Il n'y a de contre-rails que dans les aiguillages; les courbes descendent jusqu'à 10 et 12 mètres de rayon.

Les voitures qui sont à impériale contiennent cinquante-deux voyageurs : vingt à l'intérieur, vingt-deux à l'impériale et dix debout sur les plates-formes. Le châssis en fer, coudé aux extrémités, ce qui a permis d'abaisser les plates-formes, a $5^m,800$ de longueur sur $1^m,950$ de largeur; la voiture, avec les escaliers, a une longueur de 7 mètres. Les roues pleines sont en fonte du Canada; les essieux sont écartés de $1^m,800$ d'axe en axe. Le châssis repose sur des ressorts d'acier en spirale; les ressorts en caoutchouc ne sont pas applicables ici à cause du froid. Un frein à vis, à quatre sabots, permet d'enrayer toutes les roues en même temps.

Ces voitures, qui ont été construites par MM. Bonnard frères et Cie, de Paris, ne pèsent que 2.500 kilogrammes; elles peuvent être traînées sans fatigue par deux chevaux. Un cheval de renfort ne devient nécessaire que lorsque les routes présentent une pente supérieure à $0^m,035$ par mètre.

C. M. G.

N° 13

BIBLIOGRAPHIE.

Des moyens employés pour constituer le réseau des chemins de fer français, et en particulier des conventions relatives à la garantie d'intérêt et au partage des bénéfices, — par M. L. Aucoc, président de section au Conseil d'État (*).

NOTE ANALYTIQUE

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Tous les ingénieurs des ponts et chaussées et ceux-là surtout qui, plus anciens dans la carrière, n'ont pu suivre à l'École le cours de M. Aucoc, accueilleront avec reconnaissance le travail, récemment publié, dont nous allons essayer de donner une idée sommaire. La législation spéciale des voies ferrées a pris, depuis une quinzaine d'années, une place grandissante dans le domaine du droit administratif; tout le monde n'a pas été à même d'en recueillir et d'en classer progressivement les éléments complexes; l'étude rétrospective en est devenue laborieuse : mais M. Aucoc vient de la faire pour nous et pour bien d'autres, avec l'autorité qui lui appartient, sans parler de l'opportunité que de récents débats parlementaires suffiraient pour attester.

Cet important chapitre des Conférences qui ont eu l'École pour théâtre est écrit dans le même esprit et la même forme que les deux volumes déjà publiés en 1869 et 1870. Il est

(*) Cotillon, éditeur, 24, rue Soufflot, Paris, 1874.

divisé en deux *sections :* la première, consacrée à un exposé historique de la constitution du réseau français ; la seconde, traitant spécialement des conventions relatives aux garanties d'intérêt et au partage des bénéfices.

SECTION PREMIÈRE.

L'exposé historique était un préliminaire indispensable. Il embrasse successivement la période antérieure aux conventions de 1859 et celle qui provisoirement s'arrête à la loi du 23 mars 1874. Nulle part les faits réellement utiles à retenir n'avaient été rappelés et analysés en substance d'une façon plus méthodique et en termes plus précis. La revue est complète, depuis le chemin de fer de Saint-Étienne à la Loire, concédé à perpétuité en 1823 par une ordonnance du roi Louis XVIII, jusqu'aux concessions *éventuelles* transformées en concessions *définitives* par la loi du 23 Mars qui, en prescrivant d'ailleurs la mise en adjudication de deux lignes classées depuis 1868, a porté le développement de nos chemins de fer d'intérêt général à 23.735 kilomètres.

Nous ne nous arrêterons pas ici aux laborieux efforts et aux vicissitudes par lesquels a passé la création des chemins de fer en France. Nous ne rappellerons ni les deux périodes d'engouement de 1844-46 et 1852-57, ni les crises financières et commerciales auxquelles ces crises aboutirent en 1847 et 1857 (indépendamment de celle de 1839). Il est pourtant curieux de constater aujourd'hui combien étaient fondées les craintes qui se produisirent en 1859, en 1863 et en 1868 sur l'insuffisance probable du produit des nouvelles lignes. On annonçait, il y a quinze ans, que *le nouveau réseau* ne payerait pas l'intérêt et l'amortissement du capital qui allait s'y engager. Or, si l'on considère les résultats de l'année 1872, il n'y a que 3 lignes sur 79 (236 kil. sur 7.193) qui aient donné des produits nets

supérieurs à l'intérêt du capital de construction ; il y a même 22 lignes qui n'ont pas rapporté de quoi couvrir les frais d'exploitation. L'expérience a donc, sous ce rapport, confirmé pleinement les prévisions de 1859. — Mais cette confirmation ne serait, pour les parties contractantes, qu'une satisfaction bien triste si l'insuffisance avérée du produit des lignes secondaires devait inspirer des inquiétudes pour l'avenir. Pour ceux qui veulent étudier à fond, et sans parti pris, la situation actuelle des choses, M. Aucoc a consacré des développements tout particuliers aux deux importantes questions de la garantie d'intérêt et du partage ultérieur des bénéfices.

SECTION DEUXIÈME.

§ 1er.

L'auteur expose d'abord, de la façon la plus explicite, comment se calcule le *revenu kilométrique réservé* (R). Il en analyse les trois éléments, c'est-à-dire les trois sommes qui représentent, savoir : 1° le dividende total réservé aux actionnaires (A) ; — 2° la charge des obligations de l'*ancien réseau* (B) ; — 3° le prélèvement à opérer, à titre de complément, pour l'intérêt et l'amortissement des obligations *du nouveau réseau* (C). Le nombre des kilomètres de l'ancien réseau étant désigné par n, on a la relation $\frac{A + B + C}{n} = R$.

Si ce mécanisme du *déversoir* était connu en principe, on connaissait un peu moins, croyons-nous, — peu de personnes avaient pu toucher du doigt, comme on peut le faire quand on a les chiffres, des chiffres authentiques, dans la main, — les modifications que ces éléments A, B, C, doivent subir durant une période *transitoire* qui n'est pas encore près de finir, car elle ne prendra fin, pour les lignes les plus anciennement terminées, qu'au 1er janvier 1878. Ces modifications dépendent de deux causes : l'*inachève-*

ment de certaines lignes du nouveau et parfois même de l'ancien réseau, et les *dépenses complémentaires* que cinq des grandes compagnies (Orléans n'en est pas) sont autorisées à ajouter, pour l'un ou l'autre réseau, au capital de premier établissement, durant les dix années qui suivent le 1er janvier postérieur à la mise en exploitation de chaque ligne. Nous avons, pour la première fois, vu des applications numériques de ces conventions dans le travail qui nous occupe. On y trouve d'ailleurs des détails précis sur la situation très-variée des diverses compagnies au point de vue de la période transitoire. — Un arrêt tout récent du Conseil d'État (17 juillet 1874) a tranché, conformément à un recours de la compagnie d'Orléans, un point douteux qui se rattache à l'inachèvement des lignes.

Voilà pour la garantie d'intérêt. Les clauses de partage des bénéfices sont exposées avec la même clarté; mais, dans l'état actuel des choses, et à la distance qui nous sépare encore des réalisations prévues, cette question ne comportait pas les mêmes développements que la précédente. Il suffira de rappeler ici qu'*en général* l'État a droit au partage à partir du moment où l'ensemble des produits nets des deux réseaux excédera les sommes nécessaires pour représenter à la fois 8 p. 100 du capital effectivement dépensé pour les lignes de l'ancien réseau et 6 p. 100 du capital effectivement dépensé pour les lignes du nouveau réseau (*).

§ 2.

Le § 2 de la deuxième section présente peut-être un intérêt plus vif que tout ce qui précède. Cette partie du travail, consacrée au contrôle financier des compagnies, con-

(*) Il a été fait quelques dérogations à cette règle. Pour la compagnie d'Orléans, par exemple, ainsi que nous l'avons indiqué ailleurs [*Ann.* 1873, Chronique de juin, p. 502], c'est en relevant le déversoir qu'on a fixé l'origine de la période de partage.

tient des renseignements qui n'ont encore été, que nous sachions, publiés nulle part ailleurs. Sans avoir jamais cru, — comme plusieurs orateurs en ont exprimé l'idée en 1873 à la tribune de l'Assemblée nationale, — que l'État soit « à la merci des grandes compagnies » pour le règlement des comptes inhérents aux conventions, on est véritablement heureux de reconnaître que la procédure de vérification a été réglée avec l'intelligence pratique et la loyauté qu'on devait attendre des hommes qui représentent les deux parties en cause ; on est heureux d'entendre dire à M. Aucoc, qui a personnellement pris part depuis plusieurs années aux travaux de vérification, qu'après des études approfondies on est arrivé à des solutions qui lui paraissent « conformes à « l'intention commune des parties contractantes et satis- « faisantes au point de vue des intérêts du Trésor ».

Nous entrerons ici dans quelques détails.

Des règlements d'administration publique, prévus par les conventions de 1859 et rendus sur l'avis du Conseil d'État (les Compagnies entendues), ont fixé les formes suivant lesquelles chaque compagnie est tenue de justifier de ses frais de construction, de ses frais annuels d'entretien et d'exploitation, enfin de ses recettes.

Les comptes de premier établissement doivent être arrêtés *provisoirement* avant le 1er janvier qui suit la mise en exploitation des lignes et *définitivement* dix ans plus tard. Les comptes des dépenses et des recettes de chaque exercice doivent être produits dans les quatre premiers mois de l'exercice suivant. D'ailleurs chaque compagnie doit remettre au ministre des travaux publics, dans les trois premiers mois de chaque année, le budget de ses dépenses et de ses recettes pour l'exercice commençant au 1er janvier suivant. — Voilà pour les époques de production des états demandés aux compagnies.

Tous ces comptes sont soumis à une commission instituée, pour chaque compagnie, par le ministre des travaux

publics et composée ainsi qu'il suit : un conseiller d'État (qui peut être un président de section), *président*, — deux inspecteurs généraux des ponts et chaussées et un inspecteur général des mines, — enfin, sur la désignation du ministre des finances, un conseiller maître de la Cour des comptes, un inspecteur général des finances et un haut fonctionnaire du même ministère. La commission est assistée par des inspecteurs des finances.

La compagnie est tenue de représenter ses registres, pièces comptables, correspondances, etc. La commission peut se transporter par elle-même ou par ses délégués dans les gares, les bureaux, etc., provoquer les explications orales ou écrites des représentants de la compagnie. Les conclusions de son rapport, sur lesquelles le ministre des travaux publics aura à statuer après communication au ministre des finances, sont de la nature suivante :

1° S'il s'agit de comptes de premier établissement, déterminer, savoir : pour le nouveau réseau, le montant effectif du capital auquel est applicable la garantie d'intérêt ; pour l'ancien réseau, le montant des dépenses faites pour travaux complémentaires, à raison desquelles le revenu réservé peut être augmenté, ou le montant total du capital dont la compagnie a le droit de prélever l'intérêt à 8 p. 100 avant tout partage de bénéfices.

2° S'il s'agit de comptes annuels de recettes et de dépenses, déterminer surtout : le montant des produits nets de l'exploitation du nouveau réseau, celui des produits nets que l'ancien réseau peut déverser sur le nouveau, enfin et comme conséquence, le montant des avances à faire par le Trésor ou celui des bénéfices à partager entre l'État et la compagnie.

Ces divers règlements de comptes, faits en exécution des conventions, soulèvent des questions de droit qui rentrent dans le contentieux administratif. Aussi les décisions du ministre des travaux publics sont-elles susceptibles d'être

attaquées devant le Conseil d'État statuant au contentieux. C'est ainsi qu'il a été statué par le tribunal suprême, les 5 juin et 17 juillet 1874, sur deux recours formés par la compagnie d'Orléans.

Ajoutons qu'à côté du contrôle exercé par les commissions de vérification des comptes, un « inspecteur général des chemins de fer », désigné chaque année par le ministre des travaux publics, est chargé de surveiller d'une manière permanente tous les actes de la gestion financière de chaque compagnie.

Une question capitale, c'est celle des éléments qui doivent entrer dans les comptes.

Que faut-il notamment entendre par travaux *complémentaires*?

La plupart des conventions de 1868 parlent de travaux complémentaires « tels que l'agrandissement des gares, l'augmentation du matériel roulant, la pose de secondes voies ou de voies de garage ». Mais ce n'est pas là une définition limitative, exclusive ; ce n'est qu'une indication. La difficulté d'interprétation serait grande s'il s'agissait d'apprécier finalement la valeur du chemin de fer à un moment déterminé, de procéder à un inventaire industriel. Mais les règlements de 1863 prescrivent simplement de constater « les sommes dépensées dans un but d'utilité » pour l'établissement du chemin, à l'exclusion des dépenses d'entretien et des frais d'exploitation. Partant de ce texte, le Conseil d'État et les commissions de vérification des comptes ont reconnu le caractère de dépenses de premier établissement à tous les travaux neufs qui ont pour résultat d'ajouter une plus-value au capital du chemin de fer. Dans cette catégorie se rangent non-seulement des réservoirs, des plaques tournantes, des grues de chargement, qu'on ajoute après coup, mais aussi des appareils du même genre qu'on substitue à d'autres moins puissants : la plus-value est portée au

compte de premier établissement. Tels sont encore des revêtements tardifs de souterrains, des muraillements de tranchées, des pavages établis autour des maisons de gardes, ou encore des frais d'éclissage de rails, l'addition de nouvelles traverses ou de nouveaux coussinets. — Une grande indécision a régné en ce qui concerne la question de substitution des rails d'acier aux rails de fer, et la jurisprudence ne s'est fixée à cet égard qu'après quelques fluctuations : il est décidé maintenant que si les rails de fer étaient hors de service au moment de leur remplacement par des rails d'acier, la valeur de ceux-ci doit être intégralement portée au compte d'exploitation, tandis que, si les rails de fer avaient encore quelque valeur, la plus-value seulement des rails d'acier est portée au compte de premier établissement.

Une autre série de difficultés résidait dans la répartition de certaines dépenses entre les deux réseaux, par exemple pour les gares communes, les ateliers, dépôts, remises, les frais de matériel roulant, les frais généraux de l'administration centrale, etc. On s'est mis d'accord sur certaines règles, sur certains procédés. On en a fait autant pour la distinction des exercices en ce qui concerne les dépenses qui ne sont pas payées dans l'année où elles sont faites. Sur un autre point, qui pouvait donner lieu à des contestations fort délicates, il a été admis que le droit de l'État de rejeter certaines dépenses devait être limité à des dépenses frustratoires ou de pure libéralité. Enfin le Conseil d'État a décidé que certaines réserves de fonds, si sages et si judicieuses qu'elles pussent être en elles-mêmes, ne constituant pas des dépenses réellement faites, ne devaient pas être portées en compte.

§ 3.

Le troisième et dernier paragraphe de la deuxième section fait connaître quels ont été, jusqu'en 1874, les principaux effets des conventions passées entre l'État et les com-

pagnies. Il est superflu de répéter que cette constatation des résultats donnés par l'expérience est du plus haut intérêt.

D'après un tableau publié dans les *Annales* (1873, 1er sem., p. 506), le total des sommes *déversées* par l'ancien réseau, de 1864 à 1872, avait été fixé d'abord à 232 millions ; mais on voit par le travail de M. Aucoc que la vérification réglementaire des comptes a eu pour conséquence d'élever ce nombre à 255.232.280f,57.

Un autre tableau, dressé « d'après les documents officiels les plus récents », fait connaître quelles sont les sommes annuellement avancées jusqu'ici par le Trésor pour la garantie d'intérêt des fonds consacrés à l'établissement du nouveau réseau. Nous nous bornerons à faire remarquer ici, avec l'auteur, que ces sommes annuelles diffèrent assez peu (malgré la perturbation causée par la funeste guerre de 1870) de celles qu'avait hypothétiquement indiquées en 1865 M. le directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer, et qui furent consignées dans un tableau joint à une loi du 11 juin 1866. En rapprochant les chiffres, on obtient, en nombres ronds, les résultats suivants :

	PRÉVISIONS de 1865.	SOMMES AVANCÉES par l'État.
	millions.	millions.
1867	31	22
1868	31	32
1869	26	25
1870	26	62
1871	41	30
1872	41	37
1873	43	45
Totaux	239	253
Moyennes	34	36

A raison des nouvelles concessions faites en 1873 et en 1874, ces charges annuelles paraissent devoir se prolonger jusqu'en 1890. Mais il ne semble pas qu'on ait à s'en inquiéter sérieusement. M. Aucoc fait observer d'ailleurs qu'il serait injuste de ne pas mettre en regard les profits que le Trésor

public lui-même retire des chemins de fer à divers titres. Ces profits ont été évalués à 183 millions dans un discours prononcé à l'Assemblée nationale le 17 juillet 1874 par M. le ministre des travaux publics (M. Caillaux). Dût-on réduire cette évaluation des deux tiers, conformément aux critiques les plus rigoureuses dont elle a été l'objet, le bénéfice pour l'État s'élèverait encore au double des *avances* faites en moyenne de 1867 à 1873.

Mais l'intérêt immédiat du fisc paraît bien secondaire ici. Le fait essentiel, c'est que le développement de nos chemins de fer a été doublé depuis 1859, procurant à une grande portion du pays des avantages immenses, qu'elle aurait certainement attendus pendant de longues années sans ce puissant levier des garanties d'intérêt, sans cette association intime des capitaux privés et des finances publiques. Telle est la réflexion finale du travail de M. Aucoc. Ce n'est pas une thèse qu'il soutient, ce n'est pas une cause qu'il plaide ; c'est à peine une conclusion qu'il formule, après un exposé où l'on retrouve l'indépendance et l'impartialité d'appréciation qui caractérisent les décisions du Conseil d'État.

Ce livre est ainsi, à tous égards, une œuvre que l'École des ponts et chaussées est fière d'ajouter aux productions de ses professeurs.

Paris, 28 février 1875.

N° 14

MÉMOIRE

SUR

LA MISE EN VALEUR DE LA PLAINE DE L'HABRA

(PROVINCE D'ORAN. — ALGÉRIE.)

BARRAGE-RÉSERVOIR. — ASSAINISSEMENT. — IRRIGATIONS.

Par M. Léon POCHET, ingénieur des ponts et chaussées.

I. — Exposé général.

Parmi les grands travaux de colonisation auxquels a donné lieu l'occupation de l'Algérie par la France, ceux qui viennent d'être terminés dans la plaine de l'Habra (province d'Oran) marqueront certainement comme les plus considérables, sinon les plus remarquables, et nous avons pensé qu'il serait utile de livrer à la publicité une étude sur cet important sujet. Quelques considérations générales sont nécessaires pour le lecteur avant que nous puissions aborder la question elle-même. Dans tout ce qui va suivre, il sera surtout question de la province d'Oran, la seule que nous connaissions bien. Nous devons prévenir le lecteur que les considérations que nous aurons à exposer s'appliquent spécialement à cette province, et tout au plus à la partie de la province d'Alger qui l'avoisine. Certaines de nos affirmations et de nos conclusions seraient probablement très-inexactes si on les appliquait à la province de Constantine,

qui diffère notablement des deux autres par son climat et sa topographie.

Géographie physique. — L'Algérie se divise en trois parties bien distinctes. Le Tell, les hauts plateaux et le désert et les lignes séparatives de ces divisions sont à peu près parallèles à la côte. Le Tell comprend la superficie des bassins tributaires de la mer Méditerranée. Tous les cours d'eau du Tell se jettent donc dans la mer.

Les hauts plateaux, comme l'indique leur nom, sont à une altitude assez élevée de 600 à 1.200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ils forment le versant opposé du Tell. Tous les cours d'eau des hauts plateaux se perdent dans des lacs intérieurs ou *Chotts* qui sont pour la plupart à sec pendant l'été. La région des hauts plateaux est soumise à des variations de température considérables qui en rendent le séjour difficile à l'Européen. Pendant l'hiver il tombe beaucoup de neige et le froid est souvent intense. Les chaleurs de l'été y sont tropicales.

Le versant sud des hauts plateaux est adossé au grand Atlas qui court de l'est à l'ouest à une altitude de 1.800 à 2.500 mètres. De l'autre côté du grand Atlas se développe le Sahara ou grand désert.

Le désert algérien n'est pas, comme le désert égyptien, une vaste plaine de sable. On y rencontre toutes sortes de terrains. Le sable s'y montre surtout sous la forme de chaînes ou sortes de dunes au pied desquelles se trouvent fréquemment les oasis. Le désert est caractérisé par l'absence complète de cours d'eau permanents. Dans ces régions inhumaines que les Arabes appellent *le pays de la soif*, la nature organisée n'a pour ainsi dire qu'une existence éphémère et périodique. Durant l'été la vie organique semble éteinte ; elle renaît avec les pluies. De cette description succincte, il ressort que le Tell est la seule région algérienne que nous ayons intérêt à coloniser et à développer.

Pour ne parler que de la province d'Oran, cette région

est limitée par les postes militaires de Sebdou, Daya, Saïda et Tiaret. C'est bien à cette ligne que s'arrête actuellement la colonisation. Les territoires des hauts plateaux sont uniquement soumis à une action de commandement militaire. Toutefois cette situation se modifiera bientôt. Les hauts plateaux sont recouverts d'une plante textile qui y croît à l'état naturel, et que l'industrie recherche beaucoup pour la fabrication du papier : nous voulons parler de l'alfa. La superficie des terres à alfa s'élève à 4 millions d'hectares dans la seule province d'Oran. Une concession de 300.000 hectares vient d'être accordée à la compagnie franco-algérienne, avec obligation de construire un chemin de fer des hauts plateaux à la mer par Saïda et aboutissant à Arzew. Ce fait important va faire rentrer les hauts plateaux dans la zone du territoire acquis à la colonisation, du moins en face de Saïda. Il est probable que des entreprises analogues s'établiront sur d'autres points, ce qui aura pour effet de reculer jusqu'aux Chotts la limite de notre occupation réelle.

Régime des cours d'eau d'Algérie. L'Habra. — Tous les cours d'eau d'Algérie ont un régime torrentiel, c'est-à-dire que leurs pentes dépassent généralement la pente des cours d'eau tranquilles (3 mètres par kilomètre), et que leur débit subit de grandes variations. La plus grande partie des rivières sont à sec pendant l'été. Cet état de choses tient à plusieurs circonstances spéciales au pays; l'absence de forêts, l'évaporation rapide causée par un soleil ardent, enfin la rareté des pluies.

L'Algérie occidentale n'a que peu de forêts. Dans le bassin de l'Habra notamment, il faut remonter jusqu'au pied des hauts plateaux pour trouver des bois. Le reste du bassin est nu et inculte presque partout. Beaucoup de terrains consistent en marnes plus au moins argileuses qui se délitent sous les pluies. L'évaporation qui se fait à la surface de ces terrains doit être considérable.

A proprement parler il n'y a pas d'hiver dans le Tell algérien. L'hiver est la saison des pluies; elles commencent au mois d'octobre et sont généralement terminées au mois de mai; les hauteurs de pluie annuelles varient de $0^m,30$ à $1^m,06$, et leur moyenne est de 0,48 pour la ville d'Oran. Ces chiffres sont extraits des remarquables observations que M. Aucour, inspecteur général honoraire des ponts et chaussées, a poursuivies à Oran pendant trente-deux ans. Nous aurons occasion de citer souvent le nom de cet éminent ingénieur qui s'est dévoué à l'Algérie pendant toute sa carrière, et dont on peut dire qu'il n'y a pas une création si petite qu'elle soit dans la province d'Oran à laquelle il n'ait pris part. Nous empruntons à un tableau qu'il a publié en 1867 les renseignements suivants relatifs à la ville d'Oran :

	degrés.
Température moyenne annuelle.	17,07
Maximum de vingt années d'observations.	37,00
Minimum — —	1,00
Moyenne de l'hiver (décembre, janvier, février). . . .	10,89
Moyenne du printemps (mars, avril, mai).	15,68
Moyenne de l'été (juin, juillet, août).	23,23
Moyenne de l'automne (septembre, octobre, novembre).	18,48

Le nombre de jours de pluie varie peu; il oscille autour d'une moyenne de cinquante-sept.

A mesure qu'on se rapproche des hauts plateaux, la quantité d'eau tombée dans l'année diminue, et l'on n'estime guère à plus de $0^m,40$ la hauteur moyenne des pluies sur toute l'étendue du bassin de l'Habra, dont la superficie est de 1 million d'hectares. La plus grande partie de cette eau est perdue pour l'agriculture, et s'évapore dans l'atmosphère ou s'infiltre dans le sol. C'est ce que les calculs suivants mettront en évidence.

Le débit ordinaire de l'Habra est de 3 mètres cubes en hiver; il descend à 5 ou 600 litres en été, mais le débit dans les crues s'élève jusqu'a 700 mètres cubes. On admet que

de même que le *Sig*, pour lequel des observations exactes ont pu être faites depuis la construction de son barrage-réservoir, l'Habra ne débite que le $\frac{1}{37}$ de la pluie tombée sur son bassin, soit par an

$$\frac{1}{37} \times 0,40 \times 10.000.000.000 = 108.000.000 \text{ mètres cubes.}$$

Ce chiffre correspond à peu près au débit de 3,4 mètres cubes à la seconde pendant toute l'année. On a en effet :

$$3,4 \times 365 \times 86,400'' = 107.222.400 \text{ mètres cubes.}$$

En France le volume annuel des cours d'eau varie du $\frac{1}{4}$ à la $\frac{1}{2}$ du volume de la pluie tombée, et il n'y a probablement aucun exemple d'une perte d'eau comparable à celle qui a lieu sur les bassins de l'Habra et du Sig.

On sait qu'en Algérie l'eau constitue la vraie valeur du sol. Sans irrigations les cultures d'été qui sont les plus productives de toutes sont impossibles, et la terre desséchée dès le mois de juin ne produit plus rien pendant cinq mois. La pénurie des eaux de rivière est donc une circonstance des plus fâcheuses, et l'eau se trouve ici manquer dans le pays où l'on en aurait le plus besoin. C'est là, à notre avis, une des plus grosses difficultés parmi celles qui entravent le développement de la colonie. L'eau étant absolument nécessaire à l'homme, les centres habités ne peuvent s'établir que sur le bord des cours d'eau permanents, ou tout au moins à proximité des sources ou des puits qui ne tarissent jamais. Ces points sont en définitive assez rares. D'un autre côté le faible débit des cours d'eau restreint singulièrement la zone cultivée que l'on peut consacrer à des cultures d'été. Nous verrons, par exemple, que dans le bassin de l'Habra, on ne peut guère compter que sur 6.000 hectares de culture d'été, et cela grâce au barrage-réservoir ; ce n'est

guère que la $\frac{1}{160^e}$ partie du bassin. Dans les mêmes conditions, cette surface irriguée serait moyennement quinze fois plus grande en France.

Il y a là une cause d'infériorité pour notre colonie que les plus belles phrases ne sauraient dissimuler. Disons-le nettement, la question de l'eau est, en Algérie, la question vitale pour la colonisation, et malheureusement la nature a tout fait pour la rendre plus difficile que dans aucun autre pays.

Nécessité des barrages-réservoirs en Algérie. — L'Espagne. — Nous ne saurions dire par qui et comment la question des barrages-réservoirs a pris naissance en Algérie. M. Aucour en est vraisemblablement un des principaux auteurs, ou du moins il a puissamment contribué à la vulgarisation d'une idée dont il existait en Espagne des applications remontant à plusieurs siècles.

Du moment où il est reconnu que l'eau manque dans les cours d'eau pendant l'été et que cette eau abonde en hiver, que d'un autre côté les cultures arrosées pendant l'été sont les plus productives, il n'y a plus qu'un pas à faire pour concevoir le projet d'emmagasiner les eaux dans des réservoirs pendant l'hiver pour les distribuer pendant l'été. La réalisation de cette idée est subordonnée à la possibilité de trouver le long du cours d'eau un réservoir large et profond fermé par un défilé étroit et solide pouvant offrir au barrage de bonnes fondations. Toutes les rivières ne présentent pas un ensemble de circonstances assez favorables pour l'exécution d'un barrage-réservoir, et ce n'est qu'à la suite de recherches topographiques et géologiques fort longues qu'on arrive à trouver un emplacement convenable. Le barrage de l'Habra nous offre un exemple de ces difficiles recherches. Son emplacement avait été d'abord fixé à 5 kilomètres environ en amont de sa position actuelle. Dans cet emplacement, on trouvait un lit de rochers de grès so-

lides d'une longueur de 100 mètres au plus, se terminant en entonnoir à la base, profil à peu près analogue à celui du barrage du Furens. Mais dans cette situation, la réserve du barrage était très-faible et ne répondait pas à la complète utilisation du débit du cours d'eau. Plus tard, on reconnut la possibilité d'obtenir une réserve beaucoup plus considérable en établissant l'ouvrage au confluent de l'Oued-Fergoug. On gagnait en même temps le débit d'un affluent important de la rivière, mais les dimensions de l'ouvrage augmentaient notablement, puisque le déve pement du barrage atteint plus de 450 mètres.

La condition à remplir ici était d'emmagasiner le plu grand volume d'eau possible, puisqu'on disposait dans la plaine de l'Habra de 40 ou 50.000 hectares propres à l'irrigation, superficie bien supérieure à celle qu'il était possible d'arroser, même en supposant utilisé tout le débit annuel de la rivière. On s'arrêta donc au projet le plus coûteux, mais aussi le plus utile, et l'on fixa la réserv 30 millions de mètres cubes.

Ce chiffre dépasse beaucoup la réserve des barrages-réservoirs connus.

Déjà l'État avait construit sur le Sig un barrage-réservoir d'une capacité de 3.200.000 mètres cubes desservant un territoire de 5.000 hectares environ autour de Saint-Denis-du-Sig. Le nouveau centre s'était rapidement développé, et il constitue encore aujourd'hui le pays le mieux cultivé de la province d'Oran. Encouragée par ce succès, l'administration résolut de créer dans la plaine de l'Habra quelque chose d'analogue à ce qu'elle avait fait à Saint-Denis-du-Sig; mais le problème se présentait dans la plaine de l'Habra avec une complication particulière. Cette plaine était rendue marécageuse par la stagnation des eaux de l'Habra, du Sig et du Tinn qui s'y répandaient en tous sens, faute d'un lit mineur pour les conduire à la mer. Elle constituait les marais connus sous le nom de marais de la Macta. Il

était impossible de songer à coloniser la plaine de l'Habra sans procéder à des travaux d'assainissement. La mise en valeur devait donc comprendre :

1° La construction d'un barrage-réservoir;

2° L'assainissement de la plaine de l'Habra ;

3° L'établissement de canaux d'irrigation.

Un ensemble de travaux aussi considérables ne pouvait être exécuté que par l'État ou par une puissante compagnie financière. Ce fut à ce dernier parti qu'on s'arrêta au moyen de la combinaison suivante :

L'État possédait dans la plaine de l'Habra, à 10 kilomètres en aval du futur barrage, une étendue de 36.000 hectares de terres domaniales. On fit deux parts de cette superficie. Une première part de 12.000 hectares fut adjugée en partie à des concessionnaires français en lots de 50 à 100 hectares, en partie à des tribus arabes à titre d'échange; une seconde part de 24.000 hectares fut réservée.

Ces 24.000 hectares furent mis en vente par adjudication publique le 24 juillet 1864 à Oran, et le cahier des charges de la vente portait les conditions suivantes :

« Art. 1er. La vente comprend 24.100 hectares de ter-
« rains domaniaux situés dans la plaine de l'Habra et de
« la Macta et composés, savoir : de 15.320 hectares en
« terres de labour, de pâturage et de parcours, et de
« 8.730 hectares à l'état de marais et de forêts;

« Tels au surplus qu'ils se trouvent délimités par un
« liséré rouge au plan dressé le 6 août 1862 par le ser-
« vice topographique et dont copie est ci-annexée.

« Art. 2. L'adjudication sera passée à Oran devant une
« commission composée du général commandant la divi-
« sion, président, du préfet du département, du directeur
« des domaines et de l'ingénieur en chef des ponts et
« chaussées.

« Art. 3. Elle aura lieu aux enchères publiques et à
« l'extinction des feux.

« Art. 4. Les enchères porteront exclusivement sur la « somme à verser au trésor et dans laquelle n'entrera pas « le montant des travaux prescrits par l'article 5.

« Elles seront ouvertes sur la mise à prix de 24.100 fr.

« Art. 5. L'adjudication étant faite en vue de l'assainis- « sement et de la mise en valeur de la plaine de l'Habra et « du développement de la culture du coton, l'adjudicataire « sera tenu d'exécuter à ses frais, risques et périls, dans un « délai qui n'excédera pas le 1er octobre 1867, et sous le « contrôle des ingénieurs des ponts et chaussées, les tra- « vaux ci-après indiqués, savoir :

« 1° Barrage-réservoir de l'Habra à construire en entier « en maçonnerie hydraulique ;

« 2° Desséchement de la plaine de la Macta ;

« 3° Canaux pour l'irrigation des terrains à aliéner.

« Les avant-projets seront communiqués à titre de ren- « seignements aux personnes qui voudront concourir à « l'adjudication.

« Enfin l'adjudicataire devra soumettre à l'administration « les projets définitifs des travaux.

« Art. 6. Le cautionnement est de 200.000 francs.

« Art. 19. L'adjudicataire sera assujetti, à partir de l'a- « chèvement des travaux, aux taxes annuelles imposées « aux usagers des eaux pour l'entretien et la réparation des « barrages, canaux et autres ouvrages concernant les irri- « gations et pour les frais de curage.

« Seront soumis aux mêmes taxes ceux des propriétaires « des 12.000 hectares précédemment adjugés qui voudront « être admis à profiter des eaux d'irrigation provenant du « barrage et qui en feront la demande.

« Il sera en conséquence formé un syndicat entre eux et « ledit adjudicataire.

« Art. 25. Le droit à la jouissance des eaux d'irrigation « provenant du barrage appartient, sous la réserve énoncée « en l'article 16, aux 36.000 hectares dont le périmètre est

« tracé sur le plan énoncé à l'avant-projet dressé par le « service des ponts et chaussées.

« La répartition des eaux sera faite proportionnellement « aux superficies de telle manière que l'adjudicataire aura « droit à la jouissance des 24/36 de l'eau disponible.

« Il est bien entendu que les droits actuels des riverains « de l'Habra et de ses affluents, placés au-dessus du bar- « rage-réservoir, sont réservés.

« Art. 26. Le droit à la jouissance de l'eau appartient « au sol lui-même, d'où il suit que l'adjudicataire ne « pourra vendre une partie de ses terrains sans transférer « en même temps le droit qui lui est attribué à la jouis- « sance de l'eau..... »

Telles étaient les bases principales de la vente de la plaine de l'Habra.

En résumé, l'adjudicataire était tenu de construire à ses frais le barrage-réservoir de l'Habra, d'assainir la plaine de la Macta et d'y établir des canaux d'irrigation. Moyennant l'accomplissement de ces charges, il était déclaré propriétaire des 24.000 hectares et avait droit à la jouissance des 24/36 de l'eau disponible.

M. Jules Cahen, négociant à Paris, fut déclaré adjudicataire le 24 juillet 1864. Le 27 mai 1865, M. Debrousse se substituait au lieu et place de M. Cahen par acte notarié approuvé par le gouvernement. Enfin M. Debrousse constituait, à la date du 6 avril 1868, une *société anonyme* dite de l'*Habra et de la Macta* (*). Cette société a mené à terme les

---

(*) En réalité, la société anonyme de l'Habra et de la Macta n'a jamais mis ses titres en circulation. Les propriétaires fondateurs de la plaine de l'Habra étaient :

MM. Debrousse, ingénieur civil, président du conseil,
Debrousse fils,
Sarlin père,
Sarlin fils,
Castor,
Mauger,
Baroche (Ernest).

différents travaux exigés par le cahier des charges de la vente et que nous allons décrire.

II. — Barrage-Réservoir de l'Habra.

Premier projet de barrage sur l'Habra. Digue en terre. Des ruptures de barrages en terre. — Les premières études du barrage de l'Habra furent faites par l'administration des ponts et chaussées, et un premier projet consistant dans une digue en terre fut approuvé par le gouverneur général de l'Algérie le 10 septembre 1862, après avoir été soumis à l'examen du conseil général des Ponts et chaussées.

Ce projet allait être mis a exécution lorsque survinrent des accidents imprévus. Les deux barrages en terre établis sur le Sig à Tabia près de Sidi-bel-Abbès (province d'Oran) et sur le Tlélat à 30 kilomètres d'Oran furent emportés par les crues. Ces événements donnèrent de l'inquiétude sur la stabilité du barrage en terre projeté pour l'Habra, barrage bien autrement important que ceux de Tabia et du Tlélat, et l'administration résolut de faire de nouvelles études. Nous trouvons les renseignements suivants dans une note de M. Aucour, rédigée à propos des accidents de Tabia et du Tlélat au sujet des digues en terre.

Les digues en terre présentent de nombreuses causes de rupture auxquelles échappent les murs de maçonnerie.

1° Les filtrations à travers le barrage. C'est par elles qu'ont péri la digue de Longpendu (canal du Centre) et la digue de Tlélat (province d'Oran). Les filtrations ont lieu soit à la surface de séparation du sol et des terres du remblai, soit au-dessous de la fondation du barrage.

2° L'insuffisance du réservoir. Les barrages du Plessis (canal du Centre) et de Tabia (province d'Oran) ont péri par cette cause. D'une façon générale on peut dire que toute digue surmontée est une digue perdue. En Algérie, où

les débits des cours d'eau sont mal connus, on doit faire de très-grands déversoirs.

3° Les vagues soulevées par le vent et passant par-dessus la digue. La rupture du barrage Bertrand est due à cette cause. La digue n'avait que 0m,50 de revanche. On a observé des vagues de 2 mètres dans le réservoir de Cercey (canal de Bourgogne), qui a 10 mètres de profondeur et 900 mètres de diamètre; des vagues de 3 mètres dans le réservoir de Chazilly, qui a 1.500 mètres de longueur et 20 mètres de profondeur, des vagues de 4 mètres au moins dans le réservoir Bertrand.

4° Destruction de la digue par l'action de l'eau sur le talus d'amont. Quand le talus d'amont ne dépasse pas 2 de base pour 1 de hauteur et est revêtu d'un perré en pierres sèches, il se forme des vides sous le perré, le perré s'affaisse et disparaît, et une fois qu'il est enlevé la terre du remblai s'éboule peu à peu sous l'effet du batillement des vagues. La digue finit par se rompre.

Sans doute on peut combattre partiellement ces différentes causes de rupture, mais il ne paraît pas qu'on puisse avec sécurité dépasser certaines limites de hauteur de retenue avec les digues en terre.

M. Mary admet que les digues en terre à revêtements maçonnés conviennent bien aux retenues qui ne dépassent pas 12 mètres.

D'après M. Minard, les digues en terre offrent l'avantage de pouvoir être mises sur tous les terrains, tandis que les murs en maçonnerie exigent un excellent terrain de fondation.

M. Aucour pense que dans tous les cas où la hauteur de retenue dépasse 12 mètres et où l'on peut trouver une fondation de rocher dur et compacte, on doit préférer le mur en maçonnerie à la digue en terre. Dans le cas où l'absence d'un terrain de fondation solide ou le haut prix de l'ouvrage rendraient impossible la construction d'un barrage en

maçonnerie, il conseille l'adoption d'une digue en terre avec un talus d'amont très-faible, protégé par des revêtements en pierres sèches, et une revanche de 3 à 4 mètres entre la hauteur normale de la retenue et la crête des vagues.

Au sujet des ruptures de barrages, M. Aucour donne les renseignements suivants :

M. Vallée a évalué à 400.000 francs les dégâts causés par la rupture du réservoir du Plessis (canal du Centre), dont la contenance est de 600.000 mètres cubes.

D'après le même ingénieur, la rupture du réservoir Bertrand (même canal), d'une contenance de 1.600.000 mètres cubes, causerait, si elle avait lieu, un dégât de plusieurs millions.

La rupture du réservoir de Sheffield (Angleterre), d'une contenance de 3 millions de mètres cubes, a coûté la vie à deux cent cinquante personnes et a détruit huit cents maisons.

La rupture du réservoir de Tabia (province d'Oran), d'une contenance de 3 millions de mètres cubes a occasionné une perte de 400.000 francs y compris une somme de 175.000 francs pour la reconstruction du barrage.

La rupture du réservoir de Lorca (Espagne), d'une contenance de 15 millions de mètres cubes, a fait périr six cents personnes et a causé des dommages évalués à 6 millions de francs.

Les ruptures de barrages sont des accidents tellement redoutables que la question de sécurité en ces matières doit primer toutes les autres. Il vaut mieux ne pas faire que de faire sans être parfaitement assuré du succès. Pour donner une idée de l'importance de ces catastrophes, nous faisons encore les extraits suivants :

« Lors de la rupture du barrage de Sheffield dans toute « la partie de la rivière, c'est-à-dire depuis le barrage « jusqu'à Onlerton, le débit était de 1.000 mètres cubes « par seconde, la vitesse de 5 mètres. Tout ce qui se

« trouvait devant le courant était balayé. Des rochers « énormes étaient renversés et poussés au loin, absolument « comme des morceaux de bois. Des premiers moulins « rencontrés il ne reste aucun vestige. Des maisons avec « leur population endormie s'abîmaient soudainement dans « le gouffre. A Onlerton, où la vallée s'élargit, l'inondation « a pu s'étendre et les dégâts sont devenus moins forts « et moins terribles. « (Brochure anglaise sur la rupture « du barrage de Sheffield).

Dans son rapport sur la rupture du réservoir de Tabia, M. Aucour écrit les lignes suivantes :

« De Tabia à l'extrémité du territoire de Boukanifis, sur « 8 kilomètres environ, la vallée est encaissée. Les eaux « ont parcouru cette distance de 8 kilomètres en une « heure, soit avec une vitesse de $2^m,50$ par seconde ; elles « s'avancaient en tourbillonnant sur des hauteurs de 4, 5 « et 6 mètres suivant la largeur de la vallée, et entraînaient « tout sur leurs passage, maisons, champs, jardins. Par- « venues à l'extrémité du territoire de Boukanifis, les « eaux ont trouvé la vaste plaine de Sidi-bel-Abbès ; elles « n'ont pas marché avec une vitesse de plus de $0^m,60$ par « seconde. Elles ne pouvaient occasionner de grands « désastres. A Sidi-bel-Abbès, les eaux avaient leur régime « établi ; elles ont coulé sous le pont comme dans une « crue ordinaire sans que le débit ait jamais dépassé « 20 mètres cubes. »

La plus grande fréquence de rupture des barrages en terre par rapport aux barrages en maçonnerie et la nécessité d'éviter de grands désastres fait penser à M. Aucour qu'à moins de circonstances exceptionnelles, il convient de ne pas construire des réservoirs en terre de plus de 1.500.000 mètres cubes de capacité.

Je pense que cette indication ne doit pas être très-absolue. Le danger d'une rupture dépend de la pente de la vallée qui détermine la vitesse des eaux, de sa largeur, de l'im-

portance des constructions et des cultures qui y sont établies. En Algérie, par exemple, il arrive presque toujours que les barrages sont placés dans des parties de cours d'eau sauvages, d'un accès difficile et loin de tout centre important. La rupture du barrage de l'Habra ne produirait certainement pas de grands dommages, parce que sur les 10 kilomètres de parcours à l'aval le lit de la rivière est très large et pourvu de vastes cirques où les eaux peuvent s'emmagasiner. Les cultures de la vallée n'ont aucune valeur. Il n'y a point de maisons.

Cette hypothèse d'une rupture du barrage de l'Habra s'est trouvée à peu près réalisée par un accident survenu le 10 mars 1872, et sur lequel nous reviendrons. Une crue extraordinaire de la rivière fit dans le déversoir une brèche de 55 mètres de longueur sur 12 mètres de hauteur et d'une surface de 660 mètres carrés. Le débouché offert par le réservoir aux eaux du bassin se trouva ainsi subitement porté à 900 mètres carrés environ. La masse énorme d'eau qui s'échappait du bassin peut être évaluée d'après nos calculs à 5.600 mètres cubes par seconde. Le canal de décharge du déversoir fut affouillé jusqu'aux poudingues solides, et les eaux entraînèrent plus de 200.000 mètres cubes de déblais.

Le lit de la rivière s'élargit considérablement en aval du barrage, mais là se bornèrent les dégâts causés par la rupture. A 10 kilomètres en aval, en face du village de Perrégaux, l'arrivée des eaux produisit l'effet d'une grande crue de 5 à 600 mètres cubes à la seconde. Le débit était régularisé.

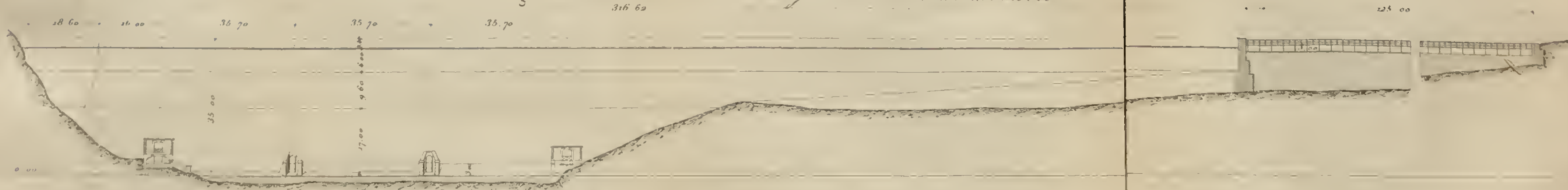
Barrage-réservoir de l'Habra en maçonnerie. — Les accidents arrivés en Algérie aux barrages de Tabia et du Tlélat firent définitivement renoncer au projet de construire en terre le barrage de l'Habra, et l'on s'arrêta au projet d'un mur en maçonnerie. Un avant-projet fut préparé par les soins de M. l'ingénieur en chef Aucour. Ce

projet ne diffère pas essentiellement du projet définitif. Pour ce motif, nous nous bornerons à donner la description du barrage tel qu'il a été exécuté sur les projets de la société de l'Habra et de la Macta (*fig.* 2, Pl. 9).

Le mur présente un développement en crête de 325 mètres environ qui, ajoutés aux 120 mètres de longueur du déversoir, donnent un total de 450 mètres pour la longueur de l'ouvrage. D'une façon générale, la largeur de la vallée est d'environ 120 mètres. Sur la rive droite, la berge se relève brusquement. Sur la rive gauche, le relèvement est progressif. La retenue est fixée à 34 mètres au-dessus du fond de la vallée et la revanche de la plate-forme du mur, par rapport à la retenue, est de $1^m,60$, ce qui donne $35^m,60$ pour la hauteur de la plate-forme au-dessus de la vallée. On a rapporté toutes les cotes à un plan 0,00 situé à $33^m,60$ au-dessous de la plate-forme ; ce plan représente à peu près l'ancien étiage de la rivière. Nous nous en servirons comme de plan de comparaison (*fig.* 1, Pl. 9).

Au-dessous de la cote 0,00, le mur présente une risberme de $3^m,89$ de largeur, et il repose sur un massif de maçonnerie de 2 mètres d'épaisseur et de $38^m,90$ d'empattement arrasé à la cote — 2 mètres. Enfin ce massif en maçonnerie s'appuie lui-même sur un massif général en béton arrasé à la cote — 4 mètres et de $38^m,90$ également de largeur. L'emploi du béton était nécessité ici par ce fait que la fondation devait être établie sur le rocher solide, à 7 ou 8 mètres au-dessous du niveau de l'Habra. Il fallait s'attendre à des infiltrations et par suite à des épuisements. L'emploi du béton permettait de mener beaucoup plus rapidement les fondations du barrage. En cours d'exécution, on s'aperçut bien vite que le béton était indispensable pour boucher les nombreuses cavités dont le rocher de fondation était parsemé, cavités remplies d'argile et dont quelques-unes avaient des profondeurs de plusieurs mètres.

A Fig 1 Élévation aval du Barrage réservoir et du déversoir



B. Fig 2. Plan général du Barrage réservoir de l'Habra et de ses abords



Fig 3

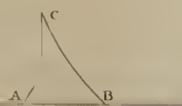


Fig. 4

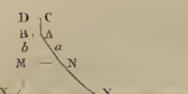
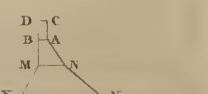
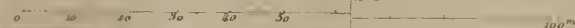


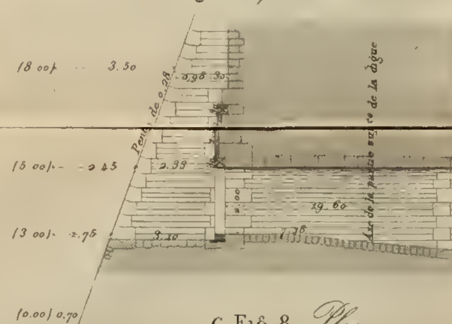
Fig 5





Évacuateur Tête d'amont

C. Fig 6 Coupe transversale



C. Fig 7. Élévation

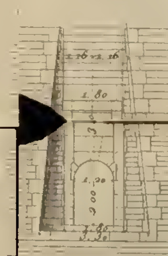
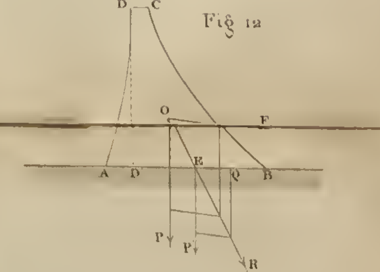


Fig 12



C. Fig 8 Plan

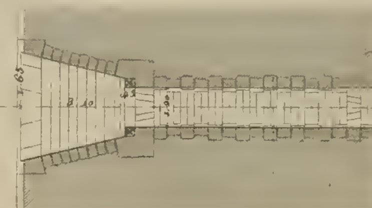
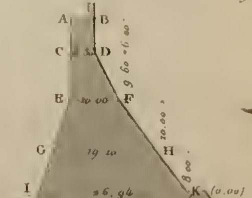


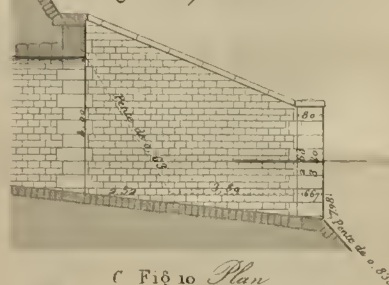
Fig 13

A. Fig 14 Profil type du barrage



Évacuateur Tête d'aval

C. Fig 9 Coupe transversale



C. Fig 11. Élévation

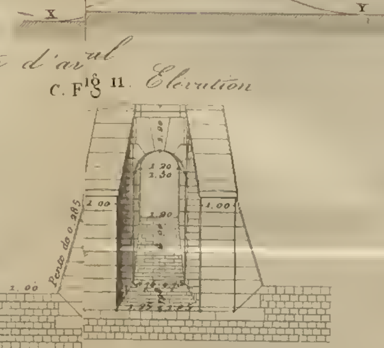
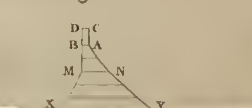


Fig 15



C Fig 10 Plan

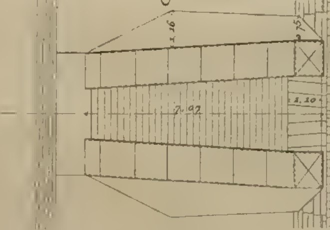




Fig 16

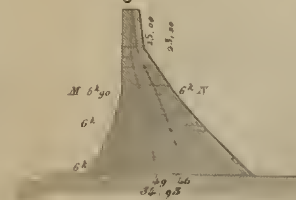
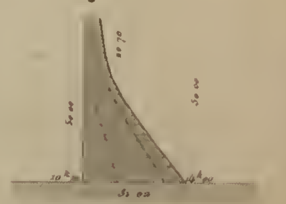
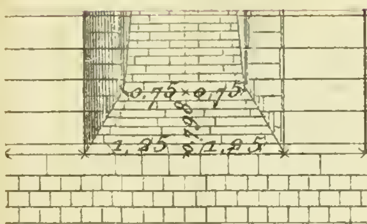


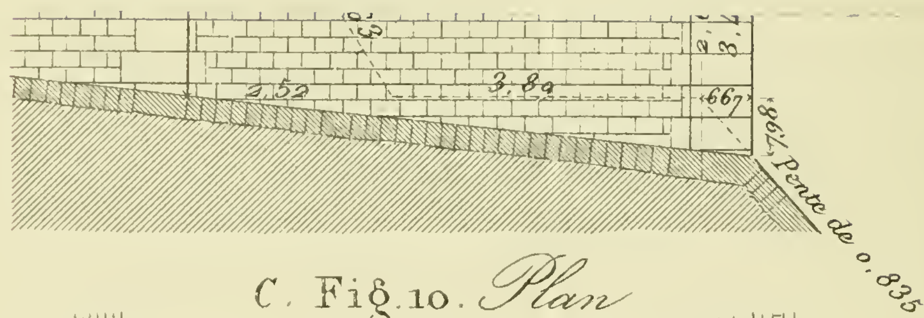
Fig 17





Gravé par E. Perot





C. Fig. 10. *Plan*

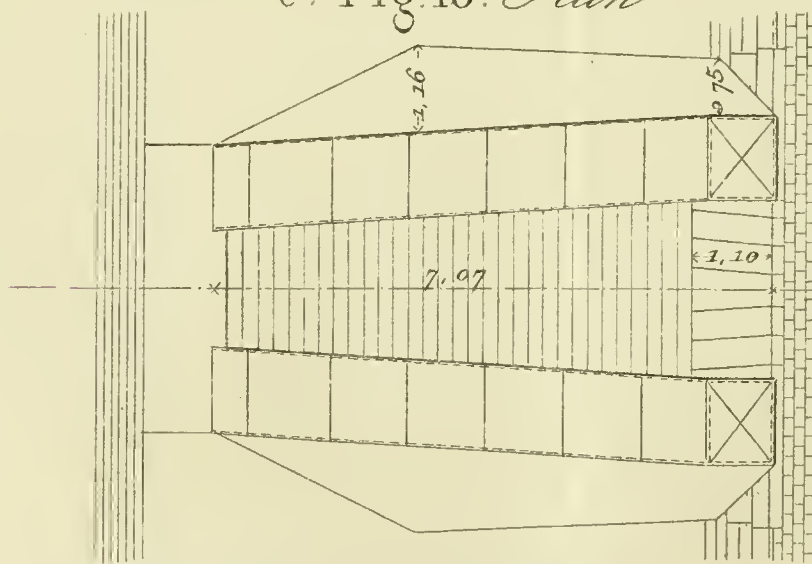
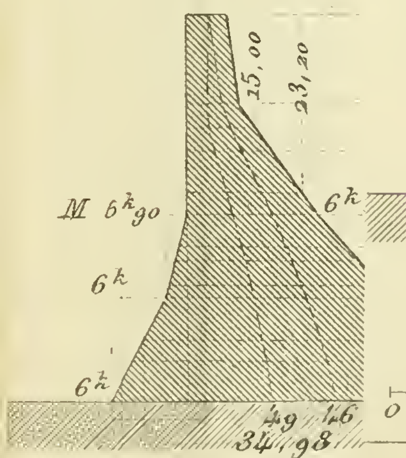


Fig. 16.



Echelle B de 0m000125 pour 1m

0 50 100 200 300 400 500m

Le profil-type du mur est constitué de la manière suivante (*fig.* 14, Pl. 9) :

De la plate-forme-cote 33m,60 à la cote 27m,60 sur 6 mètres de hauteur, les deux parements amont et aval sont verticaux et l'épaisseur est de 4m,30. De la cote 27m,60 à la cote 18, sur 9m,60 de hauteur, le fruit du parement aval est de 0,543 par mètre, celui du parement amont de 0,05.

De la cote 18 à la cote 8, le parement aval a un fruit de 0,63 par mètre ; celui du parement amont est de 0,28.

Enfin de la cote 8,00 à la cote 0,00, le fruit d'aval 0,63 se continue et le fruit du parement amont s'élève à 0m,35 par mètre.

Le profil-type du mur se compose, en définitive, de quatre trapèzes superposés, le trapèze supérieur se réduisant à un rectangle ; en voici les dimensions :

	HAUTEUR	LARGEUR en haut.	LARGEUR en bas.
	mètres.	mètres.	mètres.
Rectangle. ABCD	6.00	4,30	4,30
Trapèze. CDEF	9,60	4,30	10,00
Trapèze. EFGH	10,00	10,00	19,10
Trapèze. GHIK	8,00	19,10	26,94
Total	33,60		

Un parapet de 1m,50 de largeur et de 2m,40 de hauteur est établi sur la plate-forme du mur du côté aval et empêche les vagues de déverser les eaux par-dessus le barrage. Il permettra aux gardiens du barrage de traverser l'ouvrage d'un côté à l'autre lorsque les crues viendront à affleurer la plate-forme du mur.

Le barrage est pourvu de deux vannes de décharge ou évacuateurs placés à 35m,70 de distance l'un de l'autre dans le milieu de la vallée, et dont le seuil est à la cote 3 mètres. En outre, deux prises d'eau, composées chacune de deux tuyaux en fonte de 0m,80 de diamètre terminés par des robinets, sont établies, l'une sur la rive droite à la cote 5 mètres, l'autre sur la rive gauche à la cote 3 mètres.

Le déversoir a 125 mètres de longueur; il est surmonté d'une passerelle établie à 2 mètres au-dessus de la crête de l'ouvrage, c'est-à-dire à l'abri des crues. Le déversoir a pour destination spéciale l'écoulement des crues. Les évacuateurs pourront aussi satisfaire à cette destination, mais l'expérience démontre qu'il ne faut pas beaucoup compter sur l'efficacité de ces appareils pour cet objet; leur but principal est de permettre de faire des chasses dans le réservoir, en vue d'enlever les vases qui y seront déposées par les eaux de la rivière. Quant aux prises d'eau, elles sont établies pour fournir en tout temps le volume d'eau nécessaire aux irrigations, volume estimé à 3 mètres cubes par seconde. Nous reviendrons plus tard sur ces parties accessoires du barrage.

Profil-type du mur. — La théorie des murs de réservoir est aujourd'hui faite, au moins pour l'état actuel de la science, et M. Delocre a établi, dans un article publié dans les *Annales*, les procédés de calculs qui conduisent à la construction du profil-type.

Si l'on considère un mur de longueur indéfinie et qu'on applique les calculs à une tranche verticale de 1 mètre d'épaisseur de profil ABCD (*fig.* 12, Pl. 9), la masse peut être considérée comme soumise à l'action de deux forces, le poids propre de la maçonnerie P et la pression de l'eau F. Ces deux forces se composent en une seule résultante R qui coupe la base du mur au point E. Cette résultante R se décompose elle-même en deux forces, l'une verticale P' qui est égale au poids P augmenté de la pression verticale de l'eau sur le parement AD, l'autre horizontale Q qui est égale à la poussée horizontale de l'eau sur le même parement AD.

On admet généralement que le mur est simplement posé sur sa base et qu'il n'a aucune adhérence avec sa fondation; il faut donc pour l'équilibre :

1° Que la résultante des pressions passe dans l'intérieur de la base d'appui; c'est la première condition de stabilité.

2° Il faut encore que le mur ne puisse glisser sur sa base, par conséquent l'angle de la résultante des pressions avec la verticale doit être moindre que l'angle de frottement. La composante horizontale Q doit être inférieure au frottement. Si l'on désigne par f le coefficient de frottement du massif sur sa base, on doit avoir

$$Q < fP'.$$

3° Il faut encore que les pressions supportées par la maçonnerie ne dépassent pas la limite de résistance admise dans la pratique. On admet généralement qu'un mur se comporte comme un prisme allongé et que les sections planes restent encore planes après la déformation. C'est ce qu'on nomme habituellement *la loi du trapèze.* Dans le calcul on ne tient pas compte de la résistance des maçonneries à l'extension, et moyennant ces hypothèses on a pour la pression sur l'arête B qui est la plus chargée

$$p = 2\left(2 - \frac{3u}{l}\right)\frac{P'}{l}, \qquad (1)$$

ou

$$p = \frac{2}{3}\,\frac{P}{u}. \qquad (2)$$

Telles sont les trois conditions que doivent remplir les murs de réservoirs. Il est facile de voir que la troisième condition ne peut pas être remplie si la première ne l'est déjà. D'un autre côté, la condition relative au glissement est toujours satisfaite dans les profils usuels, de sorte qu'en réalité la seule condition dont on doive se préoccuper dans l'établissement d'un mur de réservoir est celle relative à la résistance des matériaux. Cette condition doit être satisfaite dans tous les états du mur, c'est-à-dire quelle que soit la hauteur des eaux dans le réservoir. En réalité il suffit de l'appliquer dans les deux cas suivants : réservoir plein, réservoir vide.

Examinant le cas d'un mur qui n'est soumis qu'à l'ac-

tion de son propre poids, et dans lequel la pression ne dépasserait nulle part la limite de résistance R, M. Delocre démontre que le profil d'un tel mur (*fig.* 13, Pl. 9) est symétrique par rapport à son axe, qu'il est composé à la partie supérieure d'une partie à parements verticaux ABCD d'une hauteur λ telle que

$$\lambda = \frac{R}{\delta} \text{ (}\delta\text{ poids spécifique de la maçonnerie).}$$

Pour une maçonnerie pesant 2.000 kilog. le mètre cube et pouvant porter 6 kilog. par centimètre carré, cette hauteur serait de 30 mètres. Au-dessous de la section CD le profil de chaque parement est constitué par une courbe logarithmique. Si l'on appelle y la distance d'une section horizontale quelconque MN à une section prise pour origine; x la demi-largeur du mur MN, on a

$$y - y_0 = \lambda \log \text{nep.} \left(\frac{x}{x_0}\right). \qquad (3)$$

Cette formule est applicable à partir de la section CD.

Si l'on considère maintenant le mur d'un réservoir plein d'eau, on est conduit aux considérations suivantes. Un tel mur aurait théoriquement une épaisseur nulle au sommet (*fig.* 3, Pl. 9), mais les eaux du réservoir sont quelquefois agitées par le vent, et cette circonstance oblige à donner au mur une certaine épaisseur au sommet. L'épaisseur nécessaire dépend de la violence du vent et des vagues, de leur direction et en général de la hauteur de la retenue.

La largeur du mur en couronne étant déterminée par les considérations que nous venons d'exposer, on donnera à la partie ABCD (*fig.* 4, Pl. 9) à parements verticaux une hauteur telle que la pression sur l'arête A ne dépasse pas la limite de résistance R de la maçonnerie quand le réservoir sera plein (*fig.* 4, Pl. 9). Au-dessous de la section AB le parement aval se profilera suivant une courbe AN telle

que la pression soit égale à R sur tous les points du parement lorsque le réservoir sera plein. Le parement amont restera vertical de B vers *b*. Quand le réservoir sera vide, la pression sur l'arête amont ira en croissant de D vers B... M. En M elle deviendra égale à la limite de résistance R de la maçonnerie. A partir de la section MN, le parement amont se profilera suivant une courbe MX calculée de manière que la pression y soit toujours égale à la limite R lorsque le réservoir est vide.

En définitive, le mur se compose de trois parties distinctes :

1° La partie ABCD à parements verticaux, d'une hauteur telle que la pression soit égale à R sur l'arête A quand le réservoir est plein ;

2° La partie ABMN à profil aval courbe et à parement vertical à l'amont. Le réservoir plein, la pression est égale à R tout le long de la courbe AN ; le réservoir vide, elle croît de B en M. Au point M, elle atteint la limite R ;

3° La partie MNYX à parements courbes tant à l'amont qu'à l'aval. Les pressions atteignent la limite R dans tous les points du profil aval quand le réservoir est plein et dans tous les points du profil amont quand le réservoir est vide.

Ces divisions subsistent quelle que soit la loi admise pour la répartition des pressions dans les massifs de maçonnerie.

M. Delocre a essayé d'obtenir les équations des courbes ANY, BMX.

L'équation différentielle en est facile à établir en appliquant les formules fondamentales (1) et (2), mais l'intégration paraît impossible et l'on est réduit à tracer les courbes par des méthodes approchées.

On peut par exemple considérer les portions de courbes AN, NY, MX comme des lignes droites, et l'on arrive au profil DCYX (*fig.* 5, Pl. 9) qui comprend trois solides superposés :

Un rectangle ABCD ;

Un trapèze à parement amont vertical ABMN ;

Un trapèze à parements inclinés MNYX.

Le calcul de ce profil n'exige que la résolution d'équations algébriques de degré supérieur qui ne présentent aucune difficulté lorsque les données sont numériques. Enfin on peut arriver à une approximation aussi grande que l'on veut en divisant les massifs ABMN, MNYX en plusieurs massifs superposés pour lesquels on fait un calcul spécial. Ces divisions peuvent être aussi nombreuses qu'on le désire (*fig.* 15, Pl. 9), et il est clair que si leur nombre devenait infini on obtiendrait tout simplement les courbes géométriques qui ne peuvent être calculées directement faute de savoir intégrer leurs équations. On peut dire que la détermination du profil d'un mur de réservoir est un problème aujourd'hui complétement résolu, étant admise l'hypothèse fondamentale désignée sous le nom de *loi du trapèze.*

Trois éléments serviront à déterminer les profils-types :

1° La largeur du mur en couronne ;

2° Le poids du mètre cube de maçonnerie ;

3° Le coefficient de résistance des maçonneries.

Nous allons successivement examiner leur influence.

Largeur en couronne. — La largeur en couronne varie beaucoup d'un barrage à l'autre. Nous trouvons dans les dessins de M. l'ingénieur en chef Krantz (*Études sur les murs de réservoirs*, 1870), les largeurs suivantes :

	Largeur en couronne.	Hauteur de la retenue.
	mètres.	mètres.
Barrage du Furens.	5,70	50,00
— de Puentes.	10,89	50,00
— de Lorca.	12,50	26,20
— de Lozoya.	6,70	28,65
— d'Alicante.	20,00	37,75
— de Ternay.	4,50	33,00

	Largeur en couronne	Hauteur de la retenue.
	mètres.	mètres.
Barrage de l'Habra.	4,30	35,60
— de Néjar.	7,40	25,00
— d'Elche.	9,00	19,70
— de Gros-Bois.	6,50	21,80
— de Bosmeléac.	4,30	14,30
— de Lampy.	4,90	15,65
— de Glomel.	4,20	11,90
— de Vioreau.	7,50	10,00

Il est évident que la largeur en question doit dépendre de beaucoup d'éléments, tels que la violence des vagues, leur direction, la formation des glaces; mais au point de vue de la circulation d'une rive à l'autre, il peut y avoir grand intérêt à adopter une plus grande largeur que celle nécessitée par les simples considérations de solidité de la construction.

D'une manière générale, on peut dire que la largeur de la plate-forme doit être en raison de la hauteur de la retenue, et M. Krantz conseille comme moyennes les largeurs suivantes :

Hauteur de la retenue.	Largeur en couronne.
mètres.	mètres.
5,00	2,00
10,00	2,50
15,00	3,00
20,00	3,50
25,00	4,00
30,00	4,50
35,00	5,00
40,00	5,00
45,00	5,00
50,00	5,00

L'accroissement de la largeur de la plate-forme, en raison de la hauteur de la retenue, se justifie par cette double considération que les vagues sont d'autant plus hautes que

la profondeur de la retenue est plus grande et que le besoin d'une communication facile d'un bord à l'autre du lac artificiel créé par la retenue est d'autant plus impérieux que la retenue s'étend plus loin.

Il est toujours prudent dans les calculs d'admettre que les eaux peuvent affleurer la plate-forme du mur, mais il faut éviter que cette circonstance se produise, à moins que les maçonneries soient excellentes et bien rejointoyées et que le passage des eaux ne puisse avoir aucun effet fâcheux soit sur les maçonneries, soit sur les rochers qui constituent la fondation du mur et sur lesquels l'eau déversante tombera avec une grande violence. On peut parer au danger au moyen du déversoir de superficie.

Poids spécifique des maçonneries. — La détermination de ce poids a une grande importance, parce qu'elle influe directement sur l'épaisseur du mur. A égalité de résistance à la rupture, l'épaisseur est d'autant moindre que le poids spécifique est lui-même plus petit. En effet, si au lieu de compter le poids à 2.000 kilogrammes on le compte 2.200 kilogrammes, la pression augmentera de $\frac{1}{10}$, et pour la maintenir dans les limites exigées il faudra augmenter l'épaisseur du mur.

En général on admet le chiffre de 2.000 kilogrammes pour le poids d'une maçonnerie ordinaire hourdée en mortier hydraulique. M. Krantz a coté ce poids à 2.300 kilogrammes, ainsi décomposés :

	kilog.
0^{mc},67 de moellons à 2.500 kilog.	1.675
0^{mc},33 de mortier à 1.900 kilog.	627
Total.	2.302
Soit.	2.300

Ce chiffre nous paraît un peu élevé pour les moellons calcaires, et nous pensons que le poids réel d'un mètre cube de maçonnerie hydraulique en moellons durs doit approcher de 2.150 kilogrammes.

A égalité de résistance, on aura toujours intérêt à employer des matériaux légers. Cependant si le poids du mur se réduisait à zéro, son épaisseur deviendrait infinie. Si le poids spécifique devenait infini, l'épaisseur deviendrait également infinie; il y a donc un poids spécifique qui donnerait pour chaque profil de mur un cube *minimum*, mais la recherche de ce poids n'aurait qu'un intérêt absolument théorique, puisque les matériaux à employer sont indiqués par la nature des lieux.

Choix des maçonneries et limites de charges. — Les barrages espagnols sont presque tous construits, au moins partiellement, en pierres de taille. Les ouvrages modernes sont établis conformément à cette tradition luxueuse qui tient plus au caractère des habitants qu'à l'abondance des carrières dans le pays, L'emploi de la pierre de taille dans les barrages ne paraît motivé à aucun point de vue. Sans doute elle permet d'adopter des coefficients de résistance plus élevés, encore ce point demanderait-il à être vérifié. Dans une construction par assises réglées en pierres de taille, les différentes assises sont séparées par des joints en mortier de $0^m,008$ à $0^m,010$ d'épaisseur. Généralement la limite de résistance du mortier sera inférieure à celle de la pierre, de sorte qu'il faudra baser les calculs sur la résistance du mortier et non sur celle de la pierre. A supposer même que la résistance de la pierre de taille pût être admise comme l'argument du calcul, l'économie réalisée sur le volume de la construction serait loin de compenser la différence du prix, car on sait que la maçonnerie de pierre de taille coûte trois ou quatre fois plus cher que la maçonnerie de moellons bruts.

Les calculs de résistance reposent sur des hypothèses probablement fort inexactes, mais qui ont d'autant moins de chances de l'être que la maçonnerie est plus homogène. Les pressions qui règnent dans l'intérieur d'un massif sont loin d'être verticales; elles ont des directions très-diffé-

rentes. Par tous ces motifs, la maçonnerie de moellons bruts hourdée en chaux hydraulique nous paraît être, sans contestation possible, la seule maçonnerie admissible dans la construction des murs de barrage, tant au point de vue de la résistance qu'au point de vue de l'économie.

Ordinairement on fait porter 6 kilogrammes par centimètre carré à une pareille maçonnerie; ce chiffre est admis par tous les ingénieurs. Nous croyons cependant que ce chiffre important n'a jamais été bien sérieusement établi. Dans le mémoire de M. l'ingénieur en chef Graeff (*Annales*, 1866), nous trouvons les chiffres suivants pour les charges supportées par les murs de différents réservoirs :

	kilog.
Barrage du Furens	6,50
— de Lorca	6,50
— de Nijar	7,50
— d'Almanza	14,00
— d'Elche	12,70
— de Bosméléac	6,09
— de Gros-Bois	10,40
— d'Alicante	11,30

Le barrage d'Almanza, où la pression s'élève à 14 kilogrammes par centimètre carré, est en très-bon état quoique sa construction soit antérieure à 1586; il paraît donc certain que la limite de 6 kilogrammes peut être dépassée sans danger pourvu qu'on ait à sa disposition de bons mortiers. Nous pensons même qu'il suffirait d'employer du mortier de choix dans le voisinage du parement aval, par exemple sur le tiers seulement de la largeur de chaque assise. L'objection qu'on pourrait faire à ce mode de construction, à savoir qu'on constituerait ainsi un massif non homogène, ne nous paraît guère fondée, et l'économie qu'on pourrait ainsi réaliser sur la construction est loin d'être négligeable.

M. Graeff a calculé deux profils d'un barrage de 50 mètres de hauteur, l'un pour la résistance de 6 kilogrammes,

l'autre pour la résistance de 14 kilogrammes. Les profils sont représentés par les *fig.* 16 et 17, Pl. 9 (*). Ils donnent les résultats suivants :

	Cube par mètre courant.
Type à résistance de 6 kilog.	985k,04
Type à résistance de 14 kilog.	730k,65
Différence.	254k,09

Cette différence constitue une économie de 26 p. 100 par rapport au type à résistance de 6 kilogrammes.

Dans le profil-type relatif à la résistance de 14 kilogrammes, le parement amont est tout entier vertical et la limite des pressions ne dépasse pas 10k,10 sur ce parement lorsque le réservoir est vide.

On se guidera dans chaque cas particulier d'après les considérations locales. Telle limite de hardiesse admissible pour un barrage situé dans des contrées inaccessibles, éloignées de tout centre habité, ne le sera plus si le barrage est situé en amont d'une grande ville ou dans une position telle que la rupture de l'ouvrage puisse entraîner de grands désastres. Dans ce cas, l'ingénieur est tenu aux règles de la plus extrême prudence.

Tout ce que nous voulons conclure des développements qui précèdent, c'est que la limite de résistance de 6 kilogrammes par centimètre carré, admise d'ordinaire par les ingénieurs pour le calcul des dimensions d'un barrage, n'est pas un terme absolu, et nous croyons fermement que l'expérience conduira à une pratique beaucoup plus hardie, quoique parfaitement sûre.

Épures de stabilité du barrage de *l'Habra.* — D'après les épures de stabilité du barrage de l'Habra dans la double hypothèse du réservoir plein et du barrage vide, on obtient les résultats suivants :

(*) Pour les détails des figures, voir les *fig.* 9 et 10 de la Pl. CXXVII, *Annales*, 4e série, t. XII.

Les pressions maxima calculées d'après la loi du trapèze sont de 6^{k},16 au pied du parement aval quand le réservoir est plein et de 4^{k},38 au pied du parement amont quand le réservoir est vide. La courbe des pressions passe à 14^{m},81 du parement aval quand le réservoir est vide et à 9^{m},93 de ce même parement quand le réservoir est plein. Les conditions de stabilité de l'ouvrage sont évidemment très-satisfaisantes. Il nous paraît inutile d'insister sur les procédés employés pour les calculs de résistance du mur de l'Habra; ils ne sont autre chose qu'une application des méthodes générales exposées plus haut.

Les évacuateurs. — Tous les barrages espagnols sont pourvus d'un ouvrage d'une nature spéciale, destiné à permettre le curage des vases qui, amenées en suspension dans les eaux de la rivière, se déposent dans le réservoir et en diminueraient chaque année la capacité utile si l'on ne prenait soin de les expulser. C'est le *desarenador* ou évacuateur. Au barrage d'Alicante, le desarenador fonctionne depuis le XVIe siècle et suffit a entretenir en bon état un réservoir de 3.700.000 mètres cubes de capacité. M. Aymard à donné, dans son ouvrage sur les irrigations du midi de l'Espagne, une description complète des procédés employés pour le barrage du réservoir d'Alicante. Ces procédés sont également appliqués au réservoir d'Elche et présentent même dans ce dernier exemple une amélioration importante par rapport au premier.

Une galerie voûtée de 2 mètres de hauteur sous clef et 1^{m},80 de largeur traverse le mur au niveau du fond du réservoir. Cette galerie dite galerie de curage, sert à l'évacuation des vases. Elle est fermée à l'amont par des poutrelles verticales juxtaposées et buttant contre une feuillure tant sur le radier que sur la voûte. Ces poutrelles peuvent par conséquent tomber vers l'aval, mais les feuillures les empêchent de tomber vers l'amont. Le châssis ainsi constitué par la juxtaposition des poutrelles ne présenterait

aucune résistance à la poussée des eaux du réservoir. Il est contrebuté par trois traverses horizontales placées en haut, en bas et au milieu de la hauteur de la porte, et dont les bouts sont logés dans des trous pratiqués dans les parois latérales de la galerie.

La fermeture ainsi opérée, le réservoir se remplit d'eau et de vase. Quand arrive l'époque du curage, voici comment on procède. Des ouvriers pénètrent dans la galerie par l'aval, ils enlèvent à la main la traverse supérieure et la traverse inférieure. La porte n'est plus maintenue que par celle du milieu. On met à droite et à gauche du point central deux étais provisoires buttant sur le radier. On scie la traverse par le milieu. On la soutient au droit du trait de scie par un nouvel étai buttant sur le radier, et l'on enlève les deux étais provisoires.

La porte se trouve donc en définitive maintenue contre le renversement par une seule traverse sciée en son milieu, mais soutenue au droit du trait de scie par un seul étai dont le pied butte solidement dans un entaille du radier.

L'ouvrier monte alors dans une seconde galerie superposée à la première et dont le dallage est percé d'un grand trou de $0^{m},60$ de diamètre, duquel on peut atteindre avec une longue bisaiguë le pied de l'étai placé dans la galerie inférieure. L'ouvrier, sans s'exposer au moindre danger, ruine ce pied du haut de la galerie inférieure. L'étai tombe, les deux tronçons de traverse tombent aussi, et il n'y a plus d'obstacle au renversement de la porte. Il suffit de l'ébranler du haut de la galerie à l'aide d'une corde passant dans un crochet préalablement fixé à sa partie inférieure.

Pour que la manœuvre que nous venons de décrire soit praticable, il faut que les vases accumulées contre la porte aient acquis une grande consistance. C'est ce qui arrive lorsqu'on les laisse se déposer pendant quatre ou cinq ans. Autrefois les curages du réservoir d'Alicante se faisaient même à des époques beaucoup plus éloignées. On attendait

que la vase eût atteint des hauteurs de 20 mètres. Aujourd'hui les dépôts n'ont guère que 12 mètres d'épaisseur et le curage a lieu tous les quatre ans. Pendant cette période de temps, cette vase qui est très-fine s'agglutine et prend une certaine compacité. Au barrage d'Alicante le châssis en bois qui constitue la fermeture n'est pas simplement appuyé contre des feuillures et maintenu par des poutres transversales comme cela a lieu au barrage d'Elche. Les poutres composant le châssis sont placées dans des rainures et assemblées l'une avec l'autre. La poutre centrale formant clef est placée la dernière; elle est un peu plus courte que les autres et ne pénètre pas dans la rainure supérieure. Ce premier châssis est contrebuté par des traverses. Il résulte de cette disposition du châssis d'amont que lors du curage on est obligé de détruire les bois petit à petit tout le long des parois de la galerie, après s'être toutefois assuré, en pratiquant un trou à travers les bois, que les vases ont pris une compacité suffisante. La porte une fois détruite, les bois sont enlevés et l'on se trouve en présence d'une paroi de vase aglutinée qui doit être capable de se tenir en équilibre toute seule. Cette manœuvre longue et difficile expose les ouvriers à de grands dangers, parce que la débâcle pourrait arriver sans qu'on s'y attendît. Sous ce rapport les dispositions adoptées au barrage d'Elche présentent une grande amélioration sur celles du barrage d'Alicante.

Une fois la porte détruite, il s'agit de provoquer la chute des vases. Pour cela on descend du haut du barrage une barre à mine de $0^{m},06$ de diamètre pesant environ 500 kilogrammes. Elle est taillée en pointe par le bout et terminée à son extrémité supérieure par un anneau auquel est attachée une corde qui s'enroule sur un treuil de manœuvre. Laissons parler M. Aymard :

« Quand le trou de la barre à mine est assez profond
« pour que l'eau qui y pénètre exerce une pression supé-
« rieure à la résistance des dépots inférieurs, le mouvement

« commence à se faire. Dans le principe et tant que l'eau ne « fait qu'agir par pression sans trouver un débouché libre, « les vases s'avancent à gueule bée dans la galerie, d'un « mouvement très-lent, pas plus rapide que la marche « d'un homme au pas. Mais au bout de quelques secondes, « l'eau se faisant jour dans la masse, trouve un débouché « dans la galerie, et alors c'est une débâcle générale, une « véritable avalanche qui se produit avec un bruit com- « parable à celui du canon. L'eau mêlée à la boue s'échappe « à pleine galerie avec une force d'impulsion effrayante. « L'eau du réservoir tombant d'une hauteur de 12 à « 13 mètres produit dans la masse vaseuse des affouille- « ments et des éboulements prodigieux. Il se creuse au « milieu un lit profond et toute la vase répandue sur les « versants se fissure et s'effondre en grandes masses que « le courant entraîne ; mais lorsque la cascade en remontant « vers l'amont s'est éloignée de la galerie, l'écoulement « cesse d'avoir lieu à gueule bée. Le courant occasionné « par la chute d'eau se fait sentir fort loin ; il serait très- « dangereux pour des batelets de s'y aventurer. Quand « une fois la débâcle a commencé il n'y a plus qu'à laisser « faire les eaux, sans chercher à aider leur action par des « moyens artificiels. Leur effet est du reste radical ; sur « toute l'étendue de la retenue elles font place nette. Il ne « reste de la vase que sur quelques points isolés et cir- « conscrits correspondant à de petits plateaux qui inter- « rompent la pente des versants. Dans ces points les vases « étant soutenues par un terrain plat à une certaine hauteur « au-dessus du thalweg ne peuvent s'ébouler en entier. « Mais aussitôt que le réservoir est vide on y met pendant « dix ou douze jours une brigade d'une vingtaine d'ouvriers « qui jettent ces dernières vases au courant toujours « alimenté par les sources pérennes. »

La section de la galerie de curage n'est pas uniforme ; elle va en s'évasant considérablement de l'amont à l'aval.

Au barrage d'Alicante, les dimensions de l'entrée sont 1m,80 de largeur pour 2m,70 de hauteur. Ce goulet n'a que 2m,70 de longueur. Immédiatement après, la galerie a un élargissement brusque de 0m,60 en haut et sur les côtés, et sa section se trouve portée à 3 mètres de largeur et 3m,30 de hauteur. A l'extrémité aval, la largeur est de 4 mètres et la hauteur de 5m,85.

La galerie d'Elche présente des dispositions analogues.

L'évasement de la galerie a pour but de prévenir les engorgements qui pourraient se produire lorsque les vases commencent à se mettre en mouvement, et auxquels il serait difficile de porter remède sans danger pour les ouvriers.

Le système de curage que nous venons de décrire offre plusieurs avantages, entre autres celui de fonctionner sûrement, mais il présente aussi des inconvénients sérieux. D'abord, le curage une fois commencé, il est impossible de l'arrêter et tout le volume d'eau emmagasiné est nécessairement perdu ; ensuite l'opération n'est possible que lorsque les vases ont acquis une certaine consistance, et nous avons vu qu'il fallait quatre ou cinq ans pour cela.

M. Aymard semble admettre que tout autre moyen de curage serait sujet à donner des mécomptes, et il considère le système primitif employé aux barrages espagnols comme dicté par une profonde expérience. « Dans ces bas-fonds « des réservoirs dit-il, il se fait des infiltrations sur les « parois ; il s'y dépose des concrétions, et cela dure pendant « quatre années consécutives. Que mettrait-on à la place « de la grosse charpente que nous avons décrite ? Des « vannes glissant dans des coulisses et manœuvrées par le « haut à l'aide d'engrenages ? Des portes tournant sur « pivot ? Mais les incrustations calcaires, les vases elles-« mêmes viendraient souder la vanne dans ses coulisses ; « mais les pivots se rouilleraient, s'engorgeraient ; les « chardonnets des portes s'obstrueraient, et quand le mo-« ment viendrait de mettre en jeu tous ces appareils plus

« perfectionnés, on risquerait fort d'éprouver un échec « complet. Au lieu de cela, que fait-on ? On sacrifie la porte « c'est-à-dire moins de 2 mètres cubes de bois. Ce n'est « pas là une dépense à prendre en considération dans une « opération de cette importance, et l'on est sûr du moins « que la galerie sera ouverte. Quant à la main-d'œuvre « relative au dépècement de la porte et au forage des vases « à la barre à mine, elle ne s'élève jamais au delà de « 1.000 réaux (265 fr.). »

L'ouvrage de M. Aymard ne renferme aucune indication sur le temps employé à faire le curage des réservoirs espagnols, sur le cube de vase enlevée et sur les volumes d'eau employés à cette opération. Nous sommes obligés, pour nous faire une idée de l'ordre de grandeur de ces chiffres fort importants à connaître, de procéder par approximation au moyen de données très-incomplètes.

Le réservoir d'Alicante a une largeur approximative de 300 mètres au niveau de la retenue. Sa profondeur au droit du barrage est de 41 mètres. On peut considérer le volume d'eau comme assimilable à une pyramide triangulaire dont la base serait un triangle de 300 mètres de base et de 41 mètres de hauteur. La hauteur de la pyramide serait égale à la longueur de la retenue, laquelle s'étend à 1.800 mètres en amont de l'ouvrage. D'après cela, la capacité du réservoir serait

$$300 \times \frac{41}{2} \times \frac{1}{3} \times 1.800 = 3.690.000 \text{ mètres cubes.}$$

On procède au curage lorsque l'épaisseur des vases au droit du barrage est de 16 mètres et que la tranche d'eau retenue dans le réservoir a une épaisseur de 4 mètres au-dessus des vases. Dans ces conditions, on peut considérer les vases comme formant une pyramide triangulaire dont la base aurait 16 mètres de hauteur et

$$\frac{16}{41} \times 300 = 117^{m},10$$

de largeur et dont la longueur serait de

$$\frac{16}{41} \times 1.800 = 703 \text{ mètres.}$$

Le volume de cette pyramide serait

$$117{,}10 \times \frac{1}{3} \times 703 = 219.500 \text{ mètres cubes.}$$

Notre calcul revient à supposer que les vases se déposent suivant un massif à surface horizontale. En réalité les parois du réservoir, même les plus élevées, sont toujours recouvertes d'une certaine couche de vases. La superficie de ces parois, déduction faite de la surface du massif de vase dont nous avons déjà évalué le cube, serait de

$$300 \times \frac{1.800}{2} - 117{,}10 \times \frac{703}{2} = 229.000 \text{ mètres carrés environ.}$$

Quelle épaisseur atteignent les dépôts sur les parois du réservoir? C'est ce que l'expérience seule peut indiquer. Les parois du réservoir d'Alicante sont assez inclinées, car leur pente est nécessairement supérieure à

$$\frac{41}{150} = 0^{m}{,}27$$

par mètre courant.

Comme les vases sont toujours très-fluides au moment où elles se déposent, il paraît difficile d'admettre qu'elles puissent se déposer et prendre consistance sur un talus aussi roide. On sait en effet que le talus des vases fluides est d'environ $\frac{1}{10}$. Par ces motifs nous pensons que les dépôts vaseux doivent se faire à peu près exclusivement dans le fond du réservoir et que les 229.000 mètres carrés qui forment le surplus des parois du réservoir ne sauraient être

recouverts d'une couche bien épaisse. Si nous évaluons son épaisseur à $0^m,10$ seulement nous aurons de ce chef un cube de 22.900 mètres à ajouter au cube de 219.500 mètres déjà calculé. D'après cela le volume total de la vase expulsée à chaque curage du réservoir d'Alicante serait d'environ 242.400 mètres cubes, ce qui représente 6,55 pour 100 ou $\frac{1}{15}$ de la capacité du réservoir. Le curage ayant lieu tous les quatre ans, l'apport annuel serait de $\frac{1}{60}$ de la capacité du réservoir.

Quant au volume d'eau employé dans le curage, il se compose du contenu du réservoir au moment de l'opération, lequel est d'environ

$$300 \times \frac{18}{41} \times 4 \text{ mèt.} \times \frac{18}{41} \times 1.800 = 104.125 \text{ mètres cubes,}$$

et en outre du débit des sources pendant la durée du curage. Mais le débit de ces sources n'est que de 200 litres à la seconde, soit de 17.280 mètres cubes par jour, et l'opération du curage est si rapide que ce faible appoint ne vaut pas la peine d'être compté. En définitive, on peut admettre que le volume d'eau employé à entraîner les vases s'élève à 120.000 mètres cubes. Les vases ayant un volume total de 242.400 mètres cubes, chaque mètre cube d'eau entraîne 2 mètres cubes de vase.

Ce résultat approximatif aurait d'autant plus besoin d'être vérifié que sa détermination a une grande importance pratique. Les réservoirs établis en Algérie présentent sous le rapport des envasements des exigences analogues à ceux d'Espagne. Là encore les eaux sont toujours très-limoneuses et l'importance des dépôts semble même dépasser les proportions observées en Espagne. Pour n'en citer qu'un exemple, il est établi que le réservoir du Sig, dont la capacité était originairement de 3.500.000 mètres cubes, se

réduit de 100.000 mètres cubes par an par suite des apports de vases. Actuellement le volume des dépôts s'élève à 1 million de mètres cubes et la réserve d'eau se trouve ainsi diminuée de 29 p. 100. A l'origine des choses, on n'avait pris aucune disposition pour curer le réservoir du Sig. On a dû tout récemment construire un évacuateur fermé par une vanne et dont la manœuvre n'a pas encore été faite jusqu'à présent, ce qui ne nous permet pas de faire connaître les résultats obtenus.

D'après les chiffres que nous avons cités plus haut, ce n'est plus seulement le $\frac{1}{60}$ de la capacité du réservoir qui est perdue chaque année au barrage du Sig, c'est le $\frac{1}{35}$. Il est permis de croire que les dépôts qui se produiront dans le barrage de l'Habra auront la même importance. Les deux bassins du Sig et de l'Habra sont limitrophes; ils sont composés des mêmes terrains et sont soumis aux mêmes influences atmosphériques. Il est vrai que les capacités des réservoirs ne sont pas proportionnelles à l'étendue des bassins. Ainsi, tandis que le réservoir du Sig peut contenir 3.500.000 mètres cubes pour une superficie de bassin de 400.000 hectares, le réservoir de l'Habra est destiné à contenir 30 millions de mètres cubes et la superficie du bassin de l'Habra est de 1 millions d'hectares. La réserve du Sig correspond à 9 mètres cubes par hectare, celle de l'Habra à 30 mètres cubes par hectare. Ajoutons que les irrigations de Sidi-bel-Abbès sur le Sig absorbent une grande partie du débit ordinaire de la rivière tandis que les droits à l'irrigation des riverains de l'Habra en amont du barrage sont très-restreints. — Cette différence d'importance des deux barrages par rapport à l'étendue de leurs bassins respectifs ne permet pas de conclure que l'envasement dans le barrage de l'Habra se fera dans la même proportion que dans le barrage du Sig; cependant il nous paraît

assez exact de rapporter les envasements à la surface du bassin.

Au Sig, les 100.000 mètres cubes de vases par an pour un bassin de 400.000 hectares correspondent à $0^m,25$ par hectare et par an. D'après cela, l'envasement au barrage de l'Habra devrait être de $0^m,25 \times 1$ million d'hectares, soit 250.000 mètres cubes par an, ce qui représente $\frac{1}{120}$ de la capacité du réservoir.

Un relevé que nous avons fait exécuter de l'état réservoir de l'Habra confirme à peu près ces calculs. Nous évaluons à 940.000 mètres cubes l'apport qui s'est fait depuis la fermeture de la vallée jusqu'à la fin de l'année 1873. Or la rivière était barrée dès la fin de l'année 1868, l'apport de 940.000 mètres cubes correspond donc à une période de cinq ans, soit 188.000 mètres cubes par an. D'un autre côté, comme on n'a fait de réserve que pendant une seule année, les eaux ont toujours conservé dans le réservoir, surtout pendant les crues, une vitesse supérieure à celle qu'elles auront ordinairement; par conséquent l'apport ordinaire sera supérieur à 188.000 mètres cubes et devra approcher du chiffre de 250.000 mètres cubes auquel nous avons été conduit par comparaison avec ce qui se passe au barrage du Sig.

Assimilant le barrage de l'Habra aux barrages espagnols, nous devrions supposer que le curage aurait lieu tous les quatre ans. Le cube à enlever à chaque curage serait de

$$4 \times 250.000 \text{ mèttres cubes} = 1.000.000 \text{ mètres cubes}$$

Il faudrait pour cela un volume d'eau moitié moindre, soit une réserve de

500.000 mètres cubes.

D'après cela le contenu total du barrage, vases et eaux réunies, serait de

1.500.000 mètres cubes.

Si l'on consulte le tableau des capacités utiles du réservoir de l'Habra aux diverses hauteurs, on reconnaîtra que ces chiffres correspondent à une hauteur de vases de $8^m,33$ et une retenue d'eau s'élevant à la cote 10 mètres environ.

C'est à un système d'évacuateur analogue à ceux des barrages d'Elche et d'Alicante que les ingénieurs se sont arrêtés lors de la rédaction de l'avant-projet du barrage de l'Habra. Ce dernier comportait un seul évacuateur placé dans le point le plus bas de la vallée. Cet évacuateur consistait en un aqueduc voûté de $1^m,80$ de largeur et $2^m,50$ de hauteur sous clef prolongé par des bajoyers et un radier allant en s'évasant vers l'aval, de manière à présenter sur la face aval du barrage une largeur entre bajoyers de 4 mètres et une hauteur sous clef de 6 mètres. Le débouché superficiel de l'évacuateur était de $4^{mq},15$. Quant au mode de fermeture adopté, il était analogue à celui du barrage d'Alicante. Il se composait d'un vannage en bois retenu par des étais contre-butés eux-mêmes le long du radier et des bajoyers. Une galerie voûtée placée au-dessus de l'évacuateur permettait aux ouvriers de s'approcher du vannage et d'en détruire les étais en introduisant leurs outils à travers une ouverture elliptique ménagée dans la voûte de l'évacuateur. L'avant-projet n'indiquait pas en détail la manœuvre du curage, mais il est aisé de voir que le système était entièrement emprunté aux ouvrages espagnols, et il aurait été facile d'appliquer une manœuvre calquée sur celle du barrage d'Elche qui, ainsi que nous l'avons vu, fonctionne bien.

A côté du grand évacuateur, le projet comportait une vanne à coulisses de $0^m,80$ de largeur sur $1^m,20$ de hauteur, manœuvrée par une tige montant jusqu'à la plate-forme du barrage à travers un puits à barbacanes.

Dans les prévisions des ingénieurs, le petit évacuateur devait être employé à fournir 3 mètres cubes nécessaires aux irrigations, et l'on pensait que sous l'influence de ce

courant permanent, les limons ne se déposeraient pas dans le barrage.

Comme on le voit, l'évacuateur secondaire était en réalité une prise d'eau et le courant permanent entretenu auprès du grand évacuateur aurait certainement empêché les vases de prendre la consistance et la dureté qui sont nécessaires pour permettre la manœuvre du curage telle qu'elle était projetée. Mais à l'époque où les projets furent dressés, l'ouvrage de M. Aymard n'avait pas paru, et les détails des opérations du dévasement dans les grands barrages espagnols étaient mal connus. Les dispositions de l'évacuateur furent critiquées au conseil général des ponts et chaussées, et le rapporteur, M. l'inspecteur général Lebasteur fut d'avis de séparer complétement le grand évacuateur et le petit. Ce dernier devait être reporté sur la rive gauche et constituer une deuxième prise d'eau entièrement semblable à celle de la rive droite. Le seuil du grand évacuateur devait être abaissé à la cote 4 mètres et la petite galerie servant à la destruction des étais devait être déviée latéralement en plan de manière à ne pas être située dans la même section verticale que la galerie de curage, ce qui aurait pour effet d'affaiblir notablement la résistance du barrage dans ladite section.

Toutefois le cahier des charges de la concession laissant au concessionnaire l'initiative des dispositions de l'ouvrage, le projet des ingénieurs fut notablement modifié par la compagnie de l'Habra (*fig.* 6, 7, 8, 9, 10 et 11. Pl 9). En réalité on a établi deux évacuateurs au lieu d'un seul à 35^{m},70 de distance l'un de l'autre. Leur seuil est à la cote 3 mètres. La galerie de curage présente à l'entrée une largeur libre de 1^{m},20 et une hauteur de 2 mètres sous clef, soit une section de 2$^{m.2}$,24. Cette section va en s'évasant de l'amont vers l'aval, tant par les bajoyers que par le radier, l'arête de clef de voûte restant horizontale de manière que la section de la galerie sur le parement aval présente une

largueur de $1^m,50$ et une hauteur sous clef, de 4 mètres soit une section de $5^{m^2},75$, deux fois et demie la section amont. La pente du radier est de $0^m,113$ par mètre courant, de sorte que l'aval du radier débouche à peu près à la cote $0^m,00$. Les parois de la galerie sont exécutées en moellons piqués et en pierres de taille soigneusement rejointoyés, de manière à offrir partout une surface lisse et sans aspérités. Cette condition est importante en raison de la vitesse considérable qu'auront les vases et l'eau qui traverseront les galeries à l'époque des curages.

Comparés à l'évacuateur unique du barrage d'Alicante, les évacuateurs du barrage de l'Habra présentent un débouché moindre. Au barrage d'Alicante le débouché libre est de $4^{mq},51$ pour une évacuation quadriennale de 224.000 mètres cubes de vases. Le barrage de l'Habra présente un débouché libre de $4^{mq},48$ pour une évacuation quadriennale de 1.500.000 mètres cubes. Il en résulte que l'opération du curage au barrage de l'Habra prendra nécessairement plus de temps qu'au barrage d'Alicante. L'expérience seule indiquera si cette différence de temps peut avoir de l'inconvénient au point de vue de la puissance d'entraînement des eaux.

La modification la plus importante qui ait été apportée aux disposition primitives de l'avant-projet du barrage de l'Habra consiste dans l'adoption de vannes mobiles manœuvrées par une tige pendante au moyen d'un mécanisme de transmission placé sur la plate-forme du barrage. On se rappelle que cette disposition est combattue par M. Aymard comme peu pratique. Cet ingénieur pense que les dépôts de vases qui se font sur les glissières de la vanne et qui prennent de la consistance avec le temps peuvent rendre à un moment donné la manœuvre des vannes absolument impossible. Ce raisonnement suppose que la vanne restera appuyée contre son siége pendant tout le temps qui sépare deux opérations successives du curage.

Dans cet ordre d'idées il paraît probable en effet qu'avec le temps, les dépôts qui se forment en amont autour de la vanne la scellent pour ainsi dire sur ses glissières et empêchent tout mouvement. Aussi doit-on considérer que l'adoption des vannes mobiles pour la manœuvre des évacuateurs entraîne du même coup des modifications profondes dans le système à adopter pour le curage. Les vannes doivent être levées fréquemment, ne fût-ce que de quelques centimètres, pour empêcher l'encrassement des glissières, et les courants créés ainsi périodiquement autour des évacuateurs empêcheront le dépôt des vases au moins dans leur voisinage. Ces derniers prendront un certain talus aux abords de la vanne et formeront une sorte de cône creux autour d'elle. La question de savoir si le dévasement aura lieu tous les ans ou s'il sera effectué tous les quatre ans comme au barrage d'Alicante mérite aussi d'être examinée. Il ne nous paraît pas qu'il y ait avantage à laisser les vases prendre de la consistance et de la dureté, car en cet état elles sont évidemment plus difficiles à entraîner par les eaux. A Alicante, la consistance des vases est une des conditions de succès de l'opération du curage, parce que l'abatage de la porte ne peut avoir lieu sans danger pour les ouvriers si le massif de vase n'est pas capable de se tenir debout par lui-même une fois que les poutres ont été enlevées. Un repos de quatre années est nécessaire pour donner aux dépôts cette consistance, mais il paraît évident qu'on aurait restreint à trois ans, ou deux ans ou même un an la période qui sépare deux opérations de curage, si ce laps de temps avait été compatible avec les conditions de l'opération. La faculté que l'on aura au barrage de l'Habra de manœuvrer les évacuateurs conduira très-probablement à exécuter tous les ans un dévasement. Dans les années humides, on pourra même procéder deux fois à cette opération. Au contraire, dans les années sèches, lorsque la réserve d'eau à la fin de l'été sera juste suffisante

pour les cultures, on ajournera à l'année suivante l'opération du curage.

Nous nous sommes demandé également si les courants qui s'établiront dans le réservoir seront suffisamment rapides pour entraîner les vases. Si l'on suppose le curage effectué tous les ans, le volume à enlever à chaque opération sera de 250.000 mètres cubes. On peut admettre que les vases s'élèveront jusqu'à la cote 5 mètres, et l'eau à la cote 7 mètres, le volume des vases étant égal au volume d'eau. Dans ces conditions, la hauteur de chute sera de $7 - 4 = 3$ mètres sur le centre de la vanne au commencement du curage; elle ira constamment en diminuant à mesure que l'opération s'avancera; la vitesse théorique sera égale à

$$\sqrt{2g \times 3,00} = 7^{m},70,$$

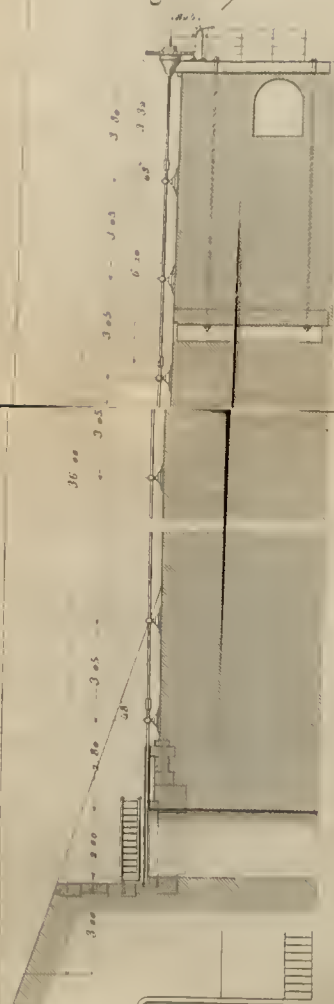
réduite aux 90 centièmes, soit à $6^{m},93$, parce que la galerie de curage étant évasée progressivement fonctionne comme un ajutage. On aura donc pour le débit en eau et vase par les deux évacuateurs

$$4,48 \times 6,93 = 31^{mc},04.$$

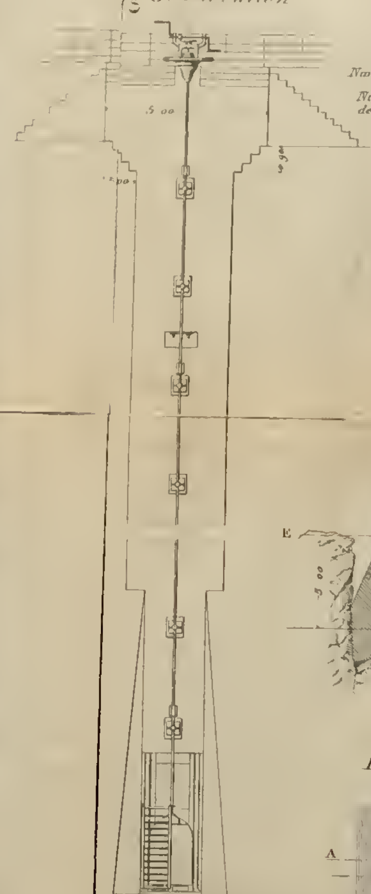
Nous supposons que le mélange d'eau et de vase se comportera comme de l'eau pure, ce qui ne doit pas être très-éloigné de la vérité. En nombre rond, le débit sera de 31 mètres cubes par seconde au commencement de l'opération, et ce débit se répartira sur un bassin dont la longueur varie de 150 à 200 mètres aux abords du barrage. Il est difficile de prévoir ce qui en résultera et sous quelle forme seront entraînées les masses de vase. Se formera-t-il des sillons dans la masse des dépôts? ou bien le curage se fera-t-il par une sorte d'érosion superficielle successive du massif? Sera-t-il utile, ainsi que nous y avons fréquemment songé, de faciliter le délayement des vases et de creuser

Évacuateur

A Fig. 1. Coupe sur l'axe



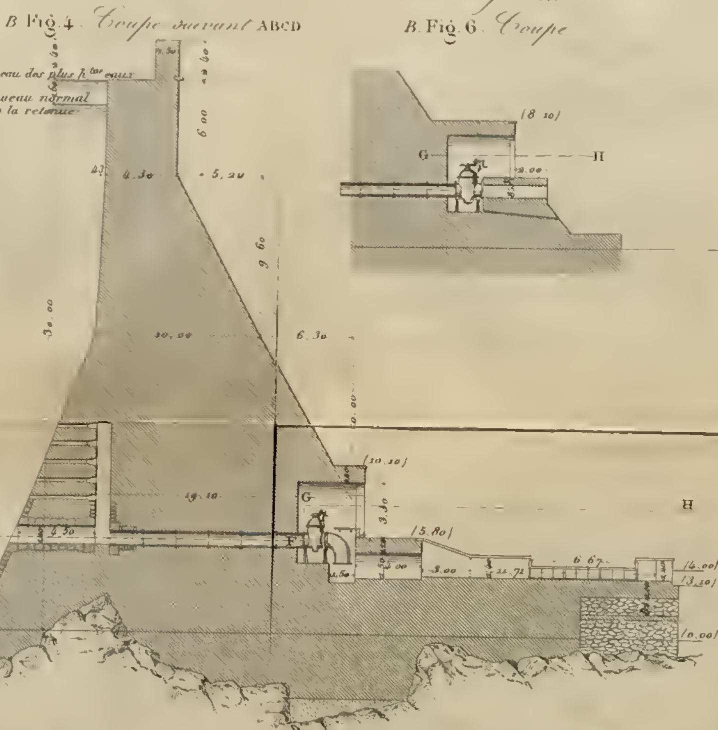
A Fig. 3. Élévation



Prises d'eau

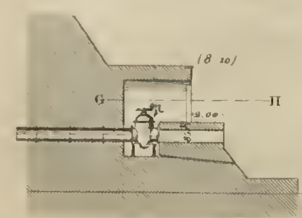
Rive droite

B Fig. 4. Coupe suivant ABCD



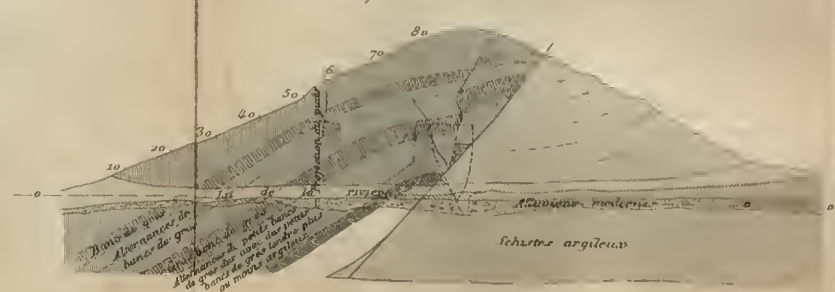
Rive gauche

B Fig. 6. Coupe

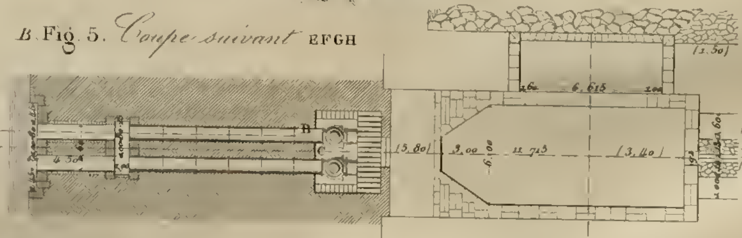


Structure souterraine du sol

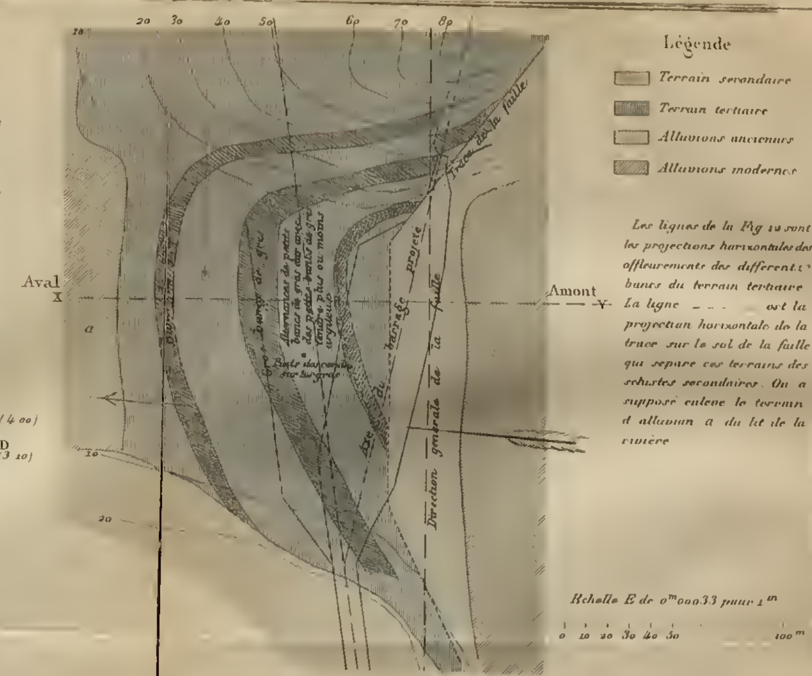
E. Fig. 11. Coupe et élévation suivant XY



B Fig. 5. Coupe suivant EFGH



E. Fig. 12. Plan



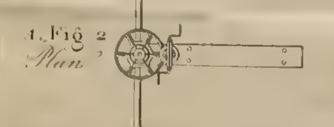
Légende

- Terrain secondaire
- Terrain tertiaire
- Alluvions anciennes
- Alluvions modernes

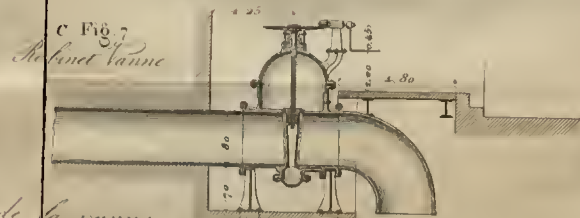
Les lignes de la Fig. 12 sont les projections horizontales des affleurements des différents bancs du terrain tertiaire. La ligne — — — est la projection horizontale de la trace sur le sol de la faille qui sépare ces terrains des schistes secondaires. On a supposé enlevé le terrain d'alluvion a du lit de la rivière.

Echelle E de 0m00033 pour 1m

A. Fig. 2. Plan



C Fig. 7. Robinet Vanne



D. Fig. 10. Déversoir

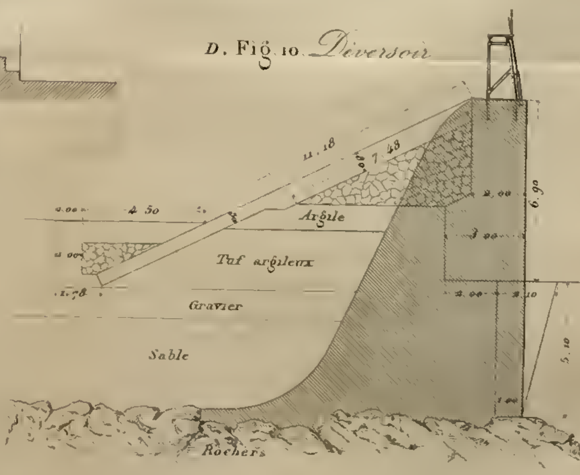


Fig. 13.

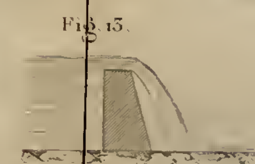


Fig. 14.



Fig. 15

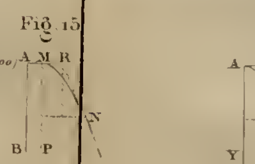


Fig. 16.

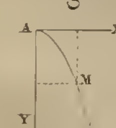
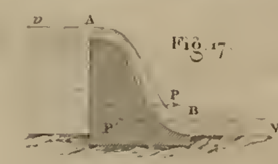


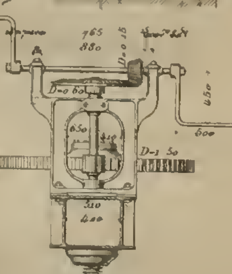
Fig. 17



Manœuvre de la vanne

Fig. 8. Coupe

Fig. 9. Élévation



Echelle A de 0m005 pour 1m

Echelle B de 0m0025 pour 1m

Echelle C de 0m01 pour 1m

Echelle D de 0m004 pour 1m

Gravé par E. Perot

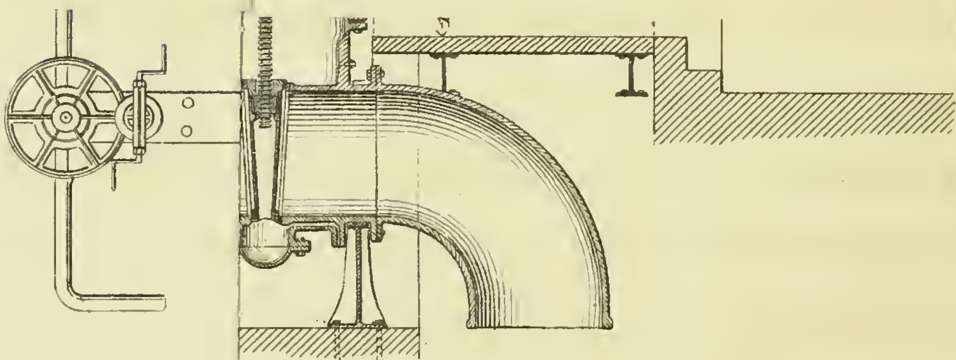
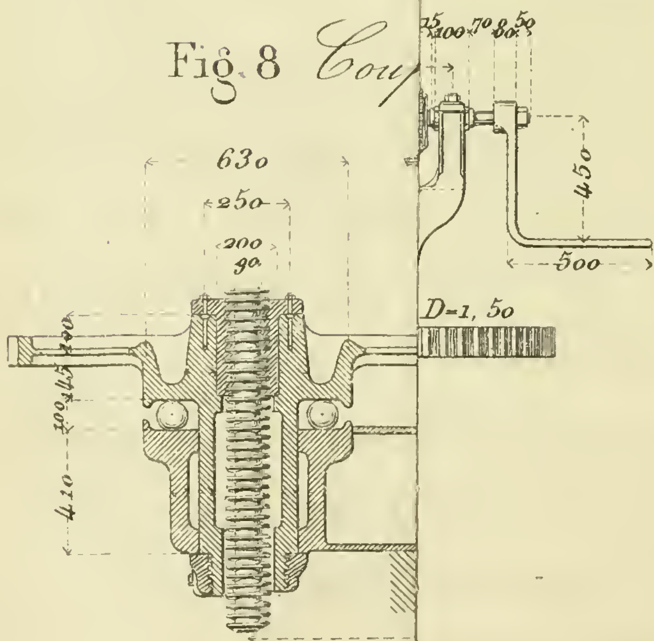
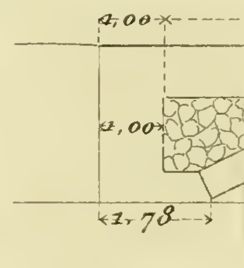


Fig. 8 Coup







Echelle B de 0^m0025 pour 1^m

0 1 2 3   0 1 2 3 4 5   10

 . Pérot

des sillons suivant le cours de la rivière au moyen d'appareils artificiels, par exemple en faisant circuler des bateaux à hélices munis à l'avant de turbines actionnées par une machine à vapeur et tournant rapidement au niveau du fond pour mettre les matières en suspension? L'expérience seule pourra nous renseigner sur ces différents points. C'est pourquoi nous n'y insisterons pas. Avec un débit maximum de 31 mètres cubes par seconde, soit un débit moyen de 15 mètres cubes, l'opération du curage durera au maximum

$$\frac{1.500\,000}{15} = 100.000 \text{ secondes,}$$

soit environ vingt-huit heures.

Nous disons au maximum parce que notre calcul suppose que toute la vase sera entraînée par l'eau à raison de 2 mètres cubes de vase pour 1 mètre cube d'eau. S'il restait dans le bassin de la vase non entraînée, il est clair que l'opération serait terminée plus vite, mais le curage serait incomplet.

Chaque vanne est constituée par une plaque de tôle de blindage de 8 centimètres d'épaisseur (*fig.* 1, 2 et 3, Pl. 10). Elle glisse sur des coulisseaux en fonte rapportés sur un cadre composé de pièces de chêne de $0^m,30$ d'équarrissage solidement scellées dans la maçonnerie par des goujons. Cette disposition a pour but de répartir bien également sur les pierres de taille qui entourent la tête de l'aqueduc la pression énorme supportée par la vanne, pression qui s'élève jusqu'à 60.000 kilogrammes.

La tige verticale de manœuvre est composée de tronçons de $6^m,10$ de longueur chacun à section carrée de 80 millimètres de côté, solidement assemblés entre eux au moyen d'un serre-joint en fonte et d'une clavette. La tige, fortement rattachée à la vanne par un assemblage en queue d'aronde, est prolongée à la partie supérieure par une vis de 12 cen-

timètres de diamètre passant au travers du moyeu d'une roue d'engrénage formant écrou et manœuvrée par un treuil. Pour empêcher la tige de se tordre sous l'action de son écrou, on l'a faite carrée et elle passe dans des guides en fer forgé maintenus par des supports scellés dans la pile du barrage tous les 5^{m},05. Ces guides présentent une disposition spéciale. Afin de corriger les erreurs de pose et les petits mouvements qui pourraient se produire dans la construction, les guides de la tige sont taraudés dans le bout et tournent dans leur support qui forme écrou. Un jeu de 0^{m},0025 en tous sens permet au carré de la tige de tourner dans son guide.

Passons à l'appareil de manœuvre. Il se compose d'une roue-écrou en fonte dont les déplacements verticaux sont empêchés : 1° à la partie supérieure par un plan de roulement s'appuyant sur huit boulets en fonte de 0^{m},10 de diamètre ; 2° à la partie inférieure par un plan de glissement constitué par un anneau en bronze (*fig.* 8 et 9, Pl. 10).

C'est dans le mouvement d'ascension de la vanne que l'on a à vaincre les plus grands efforts, et c'est pour cela que dans le plan d'appui supérieur du moyeu on a substitué un frottement de roulement au frottement de glissement.

La roue-écrou a 1^{m},50 de diamètre. Elle est commandée par un pignon de 0^{m},15 de diamètre fixé sur un arbre vertical qui porte à sa partie supérieure une roue d'angle horizontale de 0^{m},60 de diamètre, qui est elle-même commandée par un pignon de 0^{m},15 de diamètre fixé sur l'arbre de deux manivelles. L'ensemble de cet appareil est fixé sur un bâti en fonte boulonné sur une forte poutre en fonte formant corbeau et supportant la roue-écrou. La plate-forme de l'appareil de manœuvre est entourée d'un garde-corps pour permettre la circulation sans danger des ouvriers ; l'accès à la plate-forme a lieu par des escaliers situés de chaque côté le long du parapet du barrage.

Soit Q l'effort de traction ou de compression de la tige.

Si l'on néglige les frottements des différents organes du mouvement les uns sur les autres, on aura pour l'effort exercé sur une manivelle

$$\frac{Q}{\frac{0,90}{0,15} \times \frac{0,60}{0,15} \times \frac{\pi \times 1,50}{h}},$$

h désignant le pas de vis, lequel est de $0^{m},025$.

Tous calculs faits, cette formule donne

$$\frac{Q}{4.522}.$$

Si l'on suppose que les frottements calculés d'après les formules usuelles absorbent 50 p. 100 de la force utile, chiffre évidemment exagéré, on aura pour l'effort sur la manivelle

$$\frac{Q}{2.261}.$$

La pression sur la vanne $P = 2^{m},967 \times 30$ mètres $\times$ 1.000 = 80.130 kilogrammes.

Le frottement de fer sur fonte $f = 0,18$, par conséquent le frottement de la vanne contre ses glissières engendrera une résistance de

$$80.130 \times 0,18 = 14,423 \text{ kilogrammes.}$$

Le poids de l'appareil est de 3.850 kilogrammes.

Il y a lieu de tenir compte aussi de la pression exercée par l'eau sur la tranche supérieure de la vanne. — On doit remarquer, en effet, que la tranche inférieure est à la pression atmosphérique.

Cette pression est

$$1,36 \times 0,08 \times 29.000 \text{ kilog.} = 3.156 \text{ kilogrammes.}$$

On aura pour l'effort sur la tige verticale :

A la montée, 14.423 + 3.850 + 3,156 = 21.429 kilogrammes;

A la descente, 14.423 — 3.850 — 3.156 = 7.417 kilogrammes.

L'effort nécessaire sur le manivelle serait donc au maximum

$$\text{A la montée } \frac{21{,}429}{2.261} = 9^{k},45;$$

$$\text{A la descente } \frac{7.417}{2.261} = 3^{k},27.$$

L'expérience n'a pas confirmé ces indications. La manœuvre des vannes nécessite de beaucoup plus grands efforts que ceux que nous venons de calculer, et quatre hommes agissant avec une grande énergie sont nécessaires pour obtenir l'ascension ou la descente bien régulière de la vanne. Nous estimons à 120 kilogrammes environ l'effort nécessaire sur la manivelle. Comme les engrenages fonctionnent parfaitement, c'est aux frottements qui ont lieu entre la vis et son écrou d'une part et entre la vanne et ses glissières d'autre part qu'il faut attribuer ces mécomptes.

En ce qui concerne la vis, il serait à désirer qu'on pût graisser les filets; mais cela ne pourrait guère se faire qu'en pratiquant des ouvertures nombreuses dans le corps de l'écrou, peut-être même serait-il nécessaire de comprimer les matières lubrifiantes au moyen d'une petite pompe. Ces divers moyens n'ont pas été essayés. Ils préviendraient probablement la fatigue exagérée qui est imposée à la vis et qui occasionne un frottement exceptionnel. L'écrou se compose de dix spires complètes dont la couronne présente une surface totale de 49.480 millimètres carrés. Rapportée à l'effort de traction théorique de 21.429 kilogrammes, elle correspond à une pression de

$$\frac{21.429}{49.480} = 0^{k},43$$

par millimètre carré, ce qui est une pression déjà considérable pour des corps au mouvement relatif. Mais il est bien certain que cette pression est en réalité dépassée, parce que l'effort de traction dépasse 21.429 kilogrammes et qu'en second lieu les dix filets de vis ne supportent pas également cette pression.

On pourrait croire que l'épaisseur de 80 millimètres de tôle donnée à la vanne de l'évacuation est exagérée. En réalité elle est probablement inférieure à ce qui serait nécessaire. Le calcul de résistance démontre que la flexion imposée par la pression ne fait travailler la tôle qu'à $5^k,18$ par millimètre carré, mais il y a lieu de se préoccuper du contact de la vanne sur ses glissières. Il faut que ce contact soit assuré sur une assez grande largeur pour que la pression ne dépasse pas les limites pratiques. Calculons d'abord la flèche de la vanne d'après la formule ordinaire.

$$f = \frac{5pa^4}{24\,\mathrm{EI}};$$

en faisant

$$p = 30.000 \text{ kilogrammes},$$
$$a = 0,60,$$
$$\mathrm{E} = 2,10^{10},$$
$$\mathrm{I} = \frac{1}{12}\,\overline{0,08}^3 = 0,000042,$$

on trouve

$$f = 0^{\mathrm{m}},000\,96.$$

La courbe affectée par la vanne pouvant être assimilée à une parabole, on a pour l'angle de flexion au droit des glissières

$$\frac{2f}{0,60} = 0,0032.$$

La partie de la vanne sur ses glissières étant de 0,08 on a pour l'intervalle qui sépare le bord de la vanne de sa glissière

$$0,08 \times 0,0032 = 0,000256,$$

soit $\frac{1}{4}$ de millimètre. Quelque petit que soit ce chiffre, nous pensons que le calcul précédent suffit pour faire concevoir des doutes sur la répartition uniforme de la pression sur les glissières, répartition qui correspondrait à une pression de

$$\frac{30.000}{2 \times 0{,}08} = 187.500 \text{ kilogrammes}$$

par mètre carré, soit $0^k,1875$ par millimètre carré. En réalité les pressions doivent se répartir suivant la loi du trapèze, et pour peu que la moitié ou les deux tiers de la surface d'appui échappent à la pression, on voit que la pression définitive doit approcher de 1 kilogramme par millimètre carré, chiffre trop considérable et qui doit donner au coefficient de frottement une valeur très-supérieure au coefficient ordinaire 0,18. Une vanne placée dans de pareilles conditions ne saurait être trop rigide, et l'on doit s'attacher à lui donner une résistance énorme à la flexion.

Nous devons dire qu'en réalité les évacuateurs ne sont pas faits pour être ouverts sous les charges d'eau que nous avons supposées. Pendant les crues, leur concours ne saurait être bien utile, en raison de leur débit qui ne s'élève guère qu'à 12 ou 13 p. 100 du débit des crues et de la lenteur de leur levée.

L'ascension de la vanne est la $\frac{1}{4.522^e}$ partie du chemin parcouru par la manivelle, chemin qu'on peut estimer à $0^m,45$ par seconde. La levée de la vanne par seconde est d'après cela de $\frac{0,45}{4,522}$, soit de $0^m,0001$, et la levée complète de 2 mètres s'effectuera dans un temps égal à $\frac{2}{0,0001} =$ 20.000 secondes, soit cinq heures et demie. C'est seulement quand les eaux sont basses dans le bassin qu'on peut augmenter la vitesse de levée de la vanne. Les évacuateurs

doivent donc être réservés pour leur fonction spéciale qui est de servir au curage des vases, opération qui ne s'accomplit que lorsque les eaux ne dépassent pas la cote 10 ou 12 mètres et que par conséquent la charge sur la vanne est d'environ 6 mètres.

Ayant étudié les diverses combinaisons qui pourraient être substituées à la manœuvre par un trueil, nous avons été amené à penser que celle qui donnerait le plus de garantie consisterait en une double presse hydraulique dont les pistons seraient montés sur l'axe de la tige verticale. L'une des presses servirait à la montée, l'autre à la descente de la vanne. Des robinets à main mettraient en communication l'une ou l'autre des presses, avec un accumulateur où l'on entretiendrait constamment un certain volume d'eau comprimé à 50 atmosphères au moyen d'une pompe à bras. On sait avec quelle sécurité et quelle facilité opèrent ces puissants appareils. Avec leur secours la montée ou la descente d'une vanne d'évacuateur serait l'affaire d'une minute, et il serait toujours facile de leur donner une force capable de surmonter toutes les résistances.

D'une manière générale on peut dire que les appareils des évacuateurs tels que ceux que nous venons de décrire doivent être construits dans toutes leurs parties avec un excès de résistance considérable. Moyennant cette précaution, nous pensons que leur manœuvre sera toujours assez facile et qu'ils présenteront de grands avantages par rapport aux systèmes élémentaires empruntés à l'Espagne et qu'on avait d'abord projetés pour le barrage de l'Habra.

Les prises d'eau. — Le projet de la compagnie de l'Habra comportait deux prises d'eau placées, celle de la rive droite à la cote 5 mètres et celle de la rive gauche à la cote 3 mètres.

Le première devait servir à alimenter le canal de Perrégaux exclusivement, la seconde devait verser dans la rivière

les eaux destinées à la compagnie et au syndicat de l'Habra. Ce système de répartition des eaux présentait beaucoup d'inconvénients. L'eau devant être répartie proportionnellement dans la proportion de $\frac{2.900}{36.000}$ pour la rive droite et $\frac{33.100}{36.000}$ pour la rive gauche et le jaugeage devant se faire au moyen de déversoirs en mince paroi de longueur proportionnelle aux débits, il fallait manœuvrer les robinets de prise d'eau de manière à réaliser sur les seuils des déversoirs de jaugage des lames d'eau de même épaisseur. Il était à craindre que les gardiens du barrage n'opérassent pas cette manœuvre avec loyauté et exactitude ; aussi avons-nous demandé et obtenu que le prise d'eau rive droite fût seule employée au partage des eaux. Celles-ci, versées dans un bassin de 15 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur, se déversent par-dessus des seuils formés de plaques de fonte isolant la lame d'eau des parois et réalisant par conséquent *la mince paroi*. Dans ces conditions les débits sont à peu près proportionnels aux longueurs, et ces longueurs ainsi calculées sont pour le pertuis de gauche alimentant l'Habra $6^m,49$, pour le pertuis de face alimentant le canal de Perrégaux $0^m,57$. L'épaisseur de la lame d'eau qui passe sur le déversoir sera ordinairement de $0^m,33$.

La prise d'eau rive droite (*fig.* 4, 5, Pl. 10) se compose de deux tuyaux en fonte de $0^m,80$ de diamètre intérieur, distants de $1^m,80$ d'axe en axe, et noyés dans l'épaisseur de la maçonnerie du mur. Ces tuyaux prennent l'eau du réservoir par un puits vertical de $3^m,10$ de longueur sur 1 mètre de largeur et 5 mètres de hauteur, alimenté lui-même par deux aqueducs de $1^m,20$ sous clef placés au niveau du seuil des tuyaux et par cinq rangs horizontaux composés chacun de deux barbacanes de $0^m,25$ de hauteur sur $0^m,10$ de largeur. Cette disposition, empruntée aux barrages espagnols, a pour but de permettre l'accès de

l'eau aux tuyaux de prise, malgré les dépôts de vase qui tendent à en boucher l'entrée. Au barrage d'Alicante, les barbacanes et le puisard qu'elles alimentent règnent sur toute la hauteur du barrage. Au barrage de l'Habra, on a cru devoir arrêter les puisards à la cote 10 mètres, et tout nous porte à croire que cette disposition est convenable, car la prise d'eau fonctionnant constamment, il est impossible d'admettre que les vases puissent se déposer au moins dans un certain rayon autour de la prise. Il se formera là un demi-cône creux analogue à celui dont nous avons parlé à propos des évacuateurs, page 50, et que les eaux pourront toujours parcourir librement. Sur le bout de chaque tuyau est assemblé un robinet-vanne terminé par un tuyau coudé (*fig.* 4 et 5 Pl. 10).

Ces robinets, de $0^m,80$ d'ouverture, ne diffèrent pas sensiblement de ceux qui sont employés couramment dans les distributions d'eau des villes. La manœuvre d'un robinet se fait assez facilement avec deux ou trois hommes. Cependant nous ne pouvons nous empêcher de faire remarquer combien les organes qui entrent dans la construction de ces robinets-vannes sont délicats et sujets à se détériorer, et combien l'emploi d'une presse hydraulique actionnée par un accumulateur général eût rendu plus simples et plus maniables ces énormes appareils.

L'eau qui se précipite hors des robinets est animée d'une énorme vitesse. Pour empêcher ses effets destructeurs sur les maçonneries, on l'amortit en dirigeant les filets liquides au moyen d'un bout de tuyau coudé sur un matelas d'eau de $1^m,50$ environ d'épaisseur. Au sortir de la chambre des robinets, la vitesse des eaux est à peu près anéantie.

Les robinets sont contenus dans une chambre de $3^m,70$ sur 5 mètres en plan fermée par une grille dont le gardien du barrage a la clef. Les appareils de distribution de l'eau sont ainsi soustraits à la malveillance.

La prise d'eau de la rive gauche (*fig.* 6, Pl. 10) est

construite de la même manière que celle de la rive droite; mais cette prise ayant perdu, ainsi que nous l'avons dit, sa première destination, et étant pour ainsi dire transformée en évacuateur, on y a supprimé les bouts de tuyaux courbes et l'on a prolongé le corps du robinet par un tuyau droit en fonte terminé par un tuyau de même diamètre construit en pierre de taille et ménagé dans la maçonnerie. De cette façon les eaux sortent en formant un jet parabolique. Elles tombent sur les rochers qui forment la berge de la rivière, ce qui n'a aucun inconvénient.

La section des robinets a été calculée pour fournir les 3.000 litres qui composent le débit normal affecté aux arrosages, même quand la charge est réduite à $0^m,50$, c'est-à-dire quand l'eau est descendue à la cote $5^m,90$ dans le bassin.

Le déversoir, crue du 10 *mars* 1872. — Le déversoir constitue une partie nécessaire d'un barrage-réservoir et son but est de servir à l'écoulement des eaux de crues lorsque le réservoir est plein. Sa longueur dépend du volume des grandes eaux. Sur l'Habra, on estimait le débit des crues à 4 ou 500 mètres cubes, et l'on avait en conséquence fixé la longueur du déversoir à 125 mètres et placé son seuil à $1^m,60$ en contre-bas de la plate-forme du barrage (*fig.* 1, Pl. 9), cette dernière ne devant jamais être noyée par les eaux de crue. Dans ces conditions le débit de l'ouvrage est de 437 mètres cubes en vertu de l'équation

$$125 \times 1,80 \times (1,60)^{\frac{3}{2}} = 437.$$

Nous verrons que ces prévisions ont été notablement dépassées et qu'elles ont causé de graves mécomptes.

La direction du déversoir de l'Habra fait un angle d'environ 35° avec le prolongement de l'axe du barrage. Le profil de cet ouvrage tel qu'il avait été projeté et exécuté primitivement (*fig.* 10. Pl. 10), se composait de deux murs

verticaux descendus jusqu'au rocher solide et ayant leur sommet à la cote (32,00) pour celui d'amont dit *mur de rive*, à la cote (27,00) pour le mur d'aval dit *mur de garde*. Ces deux murs étaient réunis l'un à l'autre par un glacis incliné à deux de base pour un de hauteur ayant 1 mètre d'épaisseur, en maçonnerie hydraulique et reposant lui-même sur des enrochements arrimés entre le terrain naturel et le dessous du glacis. Pour comprendre le genre de construction du déversoir, il faut examiner la coupe du terrain. Il était constitué par les couches suivantes :

Argile, épaisseur moyenne,		1 mètre.
Tuf argileux	—	2 mètres.
Gravier	—	1 mètre.
Sable	—	3 mètres.
Rocher solide.		

Le tuf argileux présentait une très-grande solidité à sec ; on ne pouvait guère l'entamer qu'au pic et l'on avait un instant songé à s'appuyer dessus pour fonder l'ouvrage. Cependant, par une précaution trop bien justifiée plus tard, on établit au-dessous du massif du mur de rive encastré dans le tuf un mur en béton de 2 mètres d'épaisseur descendant jusqu'au rocher. Le but de cette fondation était d'empêcher les eaux de passer de l'amont à l'aval du mur en filtrant à travers les bancs de gravier et de sable, ce qui aurait eu pour résultat de créer une sous-pression sous le glacis du déversoir et d'en amener la ruine. En cours d'exécution, on éprouva des difficultés pour fonder le mur en béton, et son épaisseur fut tellement réduite à la base, qu'en certains points elle ne dépassait pas $0^{m},60$. Les parements de ce mur n'étaient pas verticaux, et le mur de rive se trouvait avoir la forme d'un trapèze reposant sur sa petite base. Il en résultait une répartition des pressions très-défectueuse et telles que certains points supportaient jusqu'à 35 kilogrammes par centimètre carré.

Le mur de garde à l'aval était relié au glacis incliné par un glacis horizontal de $4^m,50$ de largeur et protégé à l'aval par un massif d'enrochement de 2 mètres de largeur sur $1^m,50$ de hauteur. En cet état le déversoir pouvait être considéré comme un massif trapézoïdal de 12 mètres de hauteur à l'amont, 7 mètres à l'aval et 19 mètres de longueur enveloppé de parois étanches, et dont la conservation pouvait être assurée à la condition que ces parois présentassent une résistance suffisante aux causes de destruction.

Malheureusement le mur de garde n'était pas suffisamment protégé contre les affouillements et l'épaisseur du mur de rive n'était pas suffisante. Le 10 mars 1872, à la suite d'une crue exceptionnelle, le déversoir était emporté sur une longueur de plus de 50 mètres. Les parois latérales de la brèche étaient nettement verticales et sur la fondation le rocher était à nu dans toutes ses parties. Le canal de décharge à l'aval du déversoir avait subi une modification complète. La digue qui le limitait sur la droite avait été emportée et le nouveau canal de décharge était partout affouillé à la profondeur du poudingue, c'est-à-dire à 6 mètres environ au-dessous de l'ancien terrain naturel. La crue s'était portée vers le barrage décrivant ainsi une immense courbe autour du bajoyer droit du déversoir et elle s'était creusé un lit de 80 à 100 mètres de largeur. Ce lit se terminait à l'aval sur le lit naturel de l'Habra par une cataracte de 9 à 10 mètres de hauteur.

On peut évaluer à 200.000 mètres cubes le volume des matières emportées qui consistaient :

1° En un banc d'argile ou tuf de 4 mètres d'épaisseur;

2° Un banc de gravier et sable de 1 à 2 mètres d'épaisseur;

3° Des poudingues.

Ce volume de matières s'était déposé dans le lit naturel de l'Habra à l'aval.

La rive droite du lit naturel dans la partie située en face

de la cataracte avait été emportée par la violence des eaux, et le canal de Perrégaux qu'elle supportait n'existait plus sur une longueur de 500 mètres.

Tels étaient les dommages causés par la crue du 10 mars.

Nous étant transporté sur les lieux quelques jours seulement après l'accident, nous avons pu constater que les eaux s'étaient élevées dans le réservoir bien au-dessus de la plate-forme du mur. Des traces de clapotis sur un petit banc de sable amené par la crue elle-même sur le bajoyer rive gauche du déversoir, traces qui se prolongeaient en amont au même niveau sur les talus qui bordent le réservoir, nous amenèrent à la conviction que la crue avait dépassé la cote 34 mètres lors de la rupture qui avait eu lieu vers onze heures du soir dans la nuit du 10 au 11 mars, c'est-à-dire dans un moment où aucune constatation n'avait pu être opérée. D'après cela, il avait passé sur le déversoir une lame d'eau de 2 mètres correspondant à un débit de

$$125 \times 1,80 \times (2)^{\frac{3}{2}} = 636 \text{ mètres cubes.}$$

En ajoutant à ce chiffre le débit des robinets et des évacuateurs qui étaient en partie ouverts, on arrive au chiffre de 700 mètres cubes pour le débit de l'Habra au moment de la rupture.

Les observations faites dans les journées des 8, 9 et 10 nous ont permis de tracer la courbe des débits de l'Habra et de calculer le volume total des eaux. Depuis le 9 mars jusqu'au matin du 11, le volume total de la crue a été de 37.500.000 mètres cubes, soit presque une fois et demie la capacité du réservoir, et la plus grande partie de ce volume s'est écoulée dans la journée et la nuit du 10.

Ces résultats dépassent de beaucoup les prévisions définies par les ingénieurs avant la catastrophe. Les pluies qui avaient amené cette crue exceptionnelle avaient commencé dans le bassin de Mascara dans la journée du 6 mars. Le pluviomètre de Mascara accusait les hauteurs suivantes :

		millim.
Le 6 mars	. . . .	4,5
Le 7 mars	. . . .	5,0
Le 8 mars	. . . .	34,0
Le 9 mars	. . . .	90,0
Le 10 mars	. . . .	70,0
	Total.	203,5

On ne trouve dans les vingt-six années d'observations de M. Aucour, de 1841 à 1867, que les mois suivants qui puissent être rapprochés de celui de mars 1872 :

Janvier 1842.	242 millim.
Février 1853.	293 millim.

Encore doit-on remarquer que le mois de mars 1872 a donné avant et après la crue d'autres quatités de pluie dont nous ignorons la mesure.

Relativement aux quantités d'eau tombées dans un seul jour, M. Aucour cite les maximums suivants :

Octobre 1848.	80 millim.
Juin 1857.	52 millim.

La crue du 10 mars 1872 présente donc tous les caractères d'une crue exceptionnelle.

La chute du déversoir paraît devoir être attribuée à plusieurs causes qui ont agi ou successivement ou conjointement pour provoquer le renversement. D'une part des affouillements ont pu se produire au pied du mur de garde et le renverser, d'autre part le mur de rive n'était peut-être pas assez solide, vu le peu d'épaisseur de la maçonnerie de béton à son pied, pour supporter le poids des maçonneries et la pression de l'eau qui tendait à la briser, à la manière d'une poutre verticale chargée au milieu d'une force horizontale. Ce qui nous fait penser que l'affouillement du mur de garde n'a pas été la seule cause déterminante de la rupture, c'est que cet affouillement ne s'est pas produit sur

la portion de déversoir restée debout. Dans ces parties le mur de garde aval présentait partout un aspect satisfaisant. Les enrochements étaient même sur certains points restés en place. Si les tourbillons à axe horizontal avaient déchaussé le pied aval de l'ouvrage, cette action une fois commencée se serait propagée de proche en proche des deux côtés sur toute l'étendue du déversoir, et le mur de garde aurait été partout emporté. Ajoutons que le tuf argileux, qu'on avait pris à tort pour un tuf solide, manquait de cohésion une fois mouillé. Il nous à même paru qu'il gonflait légèrement à l'humidité, et qu'il avait pu faire bomber le glacis et amener des crevasses.

Enfin le rocher qui constituait la fondation n'était pas lui-même très-homogène, ainsi que des fouilles récentes l'ont démontré. Il consistait en bancs de grès calcaires séparés par des poches argileuses et au travers desquelles l'eau avait pu sourdre de l'amont à l'aval sous une pression de plus de 10 mètres. Le mur de garde aurait ainsi pu être déchaussé par le pied avant d'être renversé. Cette action avait plus de chance de s'exercer dans la partie médiane du déversoir parce qu'on a constaté dans cette partie une sorte de thalweg dans les bancs de rocher et une plus grande irrégularité de structure. En résumé, il est bien difficile de préciser comment ces diverses causes de destruction ont agi.

Reconstruction du déversoir. — Nous nous sommes arrêté pour la reconstruction du déversoir à l'idée d'établir un mur plein en maçonnerie. Un pareil mur formant monolithe ne peut être renversé que tout d'une pièce, et la non-étanchéité du rocher de fondation ne peut avoir aucune influence fâcheuse sur la stabilité du mur pourvu que ce rocher soit assez solide. C'est bien le cas du déversoir de l'Habra. Le mur est formé d'un trapèze dont la paroi amont est verticale; la paroi aval présente un fruit de $0^m,40$ par mètre et la largeur du mur, en couronne est de $3^m,25$. Le

calcul indique dans un pareil mur supposé avoir une hauteur de 13 mètres, et supporter une lame d'eau de 2 mètres au-dessus du seuil, la maçonnerie travaille à $6^k,20$ par centimètre carré (*fig.* 10, Pl. 10).

Le peu de solidité du rocher de fondation nous a fait considérer comme peu prudent de laisser la nappe d'eau se déverser en cataracte sur le rocher (*fig.* 13, Pl. 10). Cette disposition est celle du barrage du Sig dont tout le couronnement fonctionne en déversoir, mais le sol avoisinant le barrage du Sig est formé de rochers calcaires compactes et l'on a construit le radier à l'aval du barrage avec des blocs énormes enchevêtrés et reliés par du ciment. Nous avons jugé plus sage de forcer la nappe liquide à épouser la surface du mur et a sortir horizontalement en suivant un radier courbe (*fig.* 14). Le profil adopté permet de satisfaire à cette exigence. Il suffit pour cela de remplacer l'angle saillant R par un profil parabolique MN ayant en hauteur verticale $4^m,65$ de hauteur et se détachant à $1^m,39$ de l'arête amont du seuil (*fig.* 15). Ce profil est précisément celui que suivrait la nappe liquide pour une hauteur d'eau de 2 mètres sur le seuil. Il va sans dire que pour des hauteurs d'eau inférieures à 2 mètres, la nappe liquide suivra *a fortiori* le profil du déversoir (*).

A la partie inférieure du mur le parement incliné se raccorde avec un cercle de $4^m,50$ de rayon, 3 mètres de tangente et une partie droite de 1 mètre à la suite.

A l'extrémité gauche le radier est, bien entendu, relevé avec sa courbe de raccordement à la demande du rocher, mais il est presque partout établi à la cote (19.40).

(*) Une nappe déversante d'une hauteur h débite par mètre courant :

$$1,80\,h^{\frac{3}{2}}.$$

La hauteur de la section contractée varie de h à $\frac{2}{3}\,h$, mais il est clair que ce sera supposer une vitesse minimum, et par suite, une

En cours d'exécution on a dû pour bien asseoir la fondation, vider les poches du rocher, et les remplir de béton. Les fondations ont été ainsi descendues entre les cotes (16,00) et (17,00) et les maçonneries ont été solidement encastrées dans le rocher tant à l'amont qu'à l'aval.

La forme du mur du déversoir présente un double avantage. Elle empêche autant que possible les érosions du rocher à l'aval, en outre elle procure au mur du déversoir par réaction une poussée P′ en sens contraire de la poussée principale P (*fig* 17).

---

parabole à plus longue portée que de prendre pour cette section $\frac{2}{3}h$. D'après cela, la vitesse sera au maximum :

$$v = \frac{1,80\,h^{\frac{3}{2}}}{\frac{2}{3}\,h} = 2,70\,h^{\frac{1}{2}}.$$

Or on a, dans le mouvement parabolique (*fig*. 16),

$$x = vt,$$

$$y = \frac{1}{2}\,gt^2,$$

d'où, en éliminant t, l'équation de la parabole

$$y = \frac{gx^2}{2v^2}.$$

Remplaçant v par sa valeur $2,70\,h^{\frac{1}{2}}$, on a

$$y = 0,672\,\frac{x^2}{h},$$

pour $h = 2$, $\quad y = 0,336x^2.$

Pour que la parabole devienne tangente au mur qui a un fruit de $0^m,40$, il faut poser

$$\frac{dy}{dx} = 0,672\,x = \frac{1}{0,40},$$

d'où l'on tire

$$x = 3,72, \qquad y = 4,65.$$

Appelant q le débit par mètre courant,
V la vitesse de l'eau à l'aval en B,
v la vitesse de l'eau en A, on a pour P',

$$P' = \frac{q}{g}(V - v)$$

par mètre courant. Pour une crue de 2 mètres, cette poussée P' atteint 7.650 kilogrammes. Cet effort est peu important à côté de la poussée principale qui est de 112.500 kilogrammes. Elle vient cependant le diminuer un peu et elle contribue ainsi à la stabilité.

Le mur du déversoir est entièrement construit en maçonnerie ordinaire avec chaux hydrautique de l'Oued-Fergoug. Afin d'éviter la démolition de l'ancien mur de rive, les anciennes maçonneries ont été conservées et soigneusement reliées avec les nouvelles. Les joints de la maçonnerie sont partout rejointoyés en ciment de la Valentine.

La crue du 10 mars 1872 avait, ainsi que nous l'avons dit, creusé au niveau du rocher solide un vaste canal de décharge. Nous n'avons eu qu'à le conserver pour l'écoulement des crues du déversoir, et nous nous sommes borné à le limiter du côté du barrage par une digue en terre revêtue d'un perré en maçonnerie hydraulique solidement fondé sur le rocher. Le perré du canal de décharge a une longueur de 240 mètres. La digue se termine au droit de la cataracte, sur le lit naturel de l'Habra, par un musoir perreyé (*fig.* 1). Le canal de Perrégaux a été reconstruit dans toute la partie emportée par les eaux. Il est établi le long de la rivière et son talus est protégé par un perré à pierres sèches. Au pied du talus on a fait des plantations de tamarins. La distance qui sépare le nouveau canal de la cataracte des eaux du déversoir, est d'ailleurs assez grande pour que cet ouvrage n'ait rien à craindre du mouvement provoqué par le déversement des eaux de crues.

Passerelles. — La maison du gardien du barrage étant placée sur la rive gauche, il fallait assurer en tout temps l'accès du barrage et de ses ouvrages de régulation. On a dû établir une passerelle métallique par-dessus le déversoir (*fig.* 10, Pl. 10). Elle est formée d'un plancher de $0^m,90$ de largeur libre et d'un garde corps en fers ronds placé du côté du réservoir.

Des fermettes en fer à T distantes de 3 mètres l'une de l'autre supportent le plancher au moyen de deux longrines double T. La hauteur libre entre le seuil du déservoir et le dessus des longrines est de $2^m,16$. Il est probable que cette hauteur ne sera jamais atteinte par les crues.

Il avait été question de retenir une partie des eaux pendant les crues qui ont lieu à la fin de l'hiver ou pendant l'été au moyen d'ouvrages mobiles, mais on n'a pris aucun parti définitif à cet égard. Toutefois nous avons muni les fermettes de traverses longitudinales destinées à supporter des aiguilles de $1^m,20$ de hauteur formées de planches de $0^m,04$ d'épaisseur. La moitié seulement de la passerelle est pourvue de ces sortes d'aiguilles, qui peuvent être relevées au moyen d'une gaffe s'engageant dans un crochet, dont elles sont munies à la partie supérieure.

L'autre moitié du déversoir peut être formée partiellement au moyen de petites vannes de $0^m,65$ de hauteur et $0^m,75$ de largeur glissant dans des coulisseaux formés en fers à T, et manœuvrées par une tige en fer qui s'élève jusqu'au niveau de la passerelle.

Au moyen de ces deux genres d'appareils qui seront expérimentés et dont le temps démontrera le plus ou moins d'utilité, on pourrait augmenter la réserve du barrage, savoir :

Avec les aiguilles, de.	3.600.000 mètres.
Avec les petites vannes, de. . . .	1.950.000 mètres.

Ces volumes d'eau sont assez importants pour ne devoir

pas être négligés si l'expérience indique qu'on peut les utiliser sans danger.

Exécution des travaux. Études géologiques. — Le 21 novembre 1865, le piquetage du tracé du barrage était fait par M. Labouré, conducteur faisant fonction d'ingénieur à Mascara, en présence de M. Barrelier, chargé par les concessionnaires de la direction des travaux du barrage. Les travaux commencèrent aussitôt. Le programme arrêté pour leur exécution était le suivant. On devait dans la première campagne, c'est-à-dire pendant l'été de 1866, établir les fondations du barrage dans l'étendue de la traversée en rivière de manière à arraser les maçonneries à 3 mètres au-dessus de la rivière avant les crues de l'hiver. Pendant la campagne 1867, on devait continuer la construction du mur, fonder le déversoir de manière à pouvoir terminer les travaux dans le courant de 1868.

A la fin de 1865, on commença les terrassements de fondation sur la rive gauche du barrage; en même temps on préparait à la rivière un lit provisoire sur la rive droite, on jetait un pont en bois sur cette partie de rivière afin de conserver la communication entre les deux rives. On procédait à l'extraction des moellons qui étaient pris en amont du barrage sur les deux rives de l'Habra. On construisait les magasins, les broyeurs à mortier, les bétonnières, on faisait les approvisionnements pour le coulage du béton, en un mot on installait le chantier. Dès le mois de mai 1866 et grâce à l'activité déployée, on avait creusé la fouille rive gauche à une profondeur qui atteignait en certains points $7^{m},50$, et l'on n'avait pas encore rencontré le terrain solide. Les sondages n'en indiquaient pas d'avantage la présence quoique le rocher fût annoncé à la profondeur moyenne de 5 mètres par l'administration des ponts et chaussées. Dans toute l'étendue de la fouille, le sol était constitué par une argile schisteuse se délitant au contact de l'eau. Il était évident que les sondages de l'adminis-

tration avaient porté sur des blocs isolés de poudingues ou de grès qu'on avait pris à tort pour le fond solide. Le directeur des travaux fit part à M. l'ingénieur en chef Aucour de ces graves mécomptes, qui avaient le double inconvénient d'entraîner dans des pertes de temps sans compensation et dans des dépenses inutiles, et sur la demande de M. Aucour, M. l'ingénieur des mines Rocard fut envoyé par l'administration sur les lieux pour faire un rapport.

Le 20 mai, cet ingénieur déclara qu'on ne trouverait pas le rocher sur l'emplacement assigné au barrage et émit l'avis qu'il fallait reporter ce tracé vers l'aval, en faisant tourner l'arc du barrage de 18° environ autour de son attache sur la rive gauche, ce qui avait pour effet de placer à 65 mètres en aval l'enracinement de la rive droite. Le plan et le profil géologique (*fig.* 11, 12, Pl. 10), que M. Rocard fournit le 25 juin à l'appui de son rapport, expliquaient parfaitement l'erreur commise en adoptant le premier tracé et justifiaient bien la valeur du second.

L'emplacement choisi pour l'établissement du barrage de l'Habra était précisément situé à la séparation des marnes secondaires représentées ici par des argiles schisteuses et des grès tertiaires moyens. La faille ou plan de séparation des deux terrains plonge vers l'aval, en faisant un angle de 45° sur l'horizon. L'inclinaison des bancs de grès sur l'horizon également est d'environ 30°. La fouille exécutée au 30 mai 1866 sur la rive gauche était établie partie sur les grès, partie sur les marnes secondaires. L'emplacement du barrage sur la rive droite reposait presque entièrement sur ces derniers terrains ; il était donc indispensable d'abandonner le tracé primitif et d'adopter le tracé indiqué par M. Rocard, qui mettait le barrage entièrement sur les grès calcaires à une assez grande distance de la faille pour que le banc de grès pût supporter par lui-même le poids de la construction. Toutefois tous les bancs de grès n'avaient pas la même consistance. Entre

deux bancs de grès durs, l'un de 10 mètres d'épaisseur situé à l'aval, l'autre de $1^m,50$ à 2 mètres placé à l'amont de celui-ci, et à 25 mètres environ de distance, lesquels servent de base principale à la construction, le terrain est constitué par des alternances de petits bancs de grès tendres et durs entrecoupés de lits d'argile. Cette partie de la fondation a demandé beaucoup de soins, et en certains points on a dû vider les poches d'argiles à de grandes profondeurs pour les remplir de béton.

Les indications de M. Rocard avaient d'ailleurs été données par cet ingénieur dès l'année 1863. Malheureusement on n'avait pas tenu assez de compte de ces études, qui suffisaient cependant pour opérer le tracé de l'ouvrage.

Sur la rive gauche, on établit en long et en travers du barrage deux tranchées de reconnaissance et sur la rive droite une tranchée dans laquelle furent faits plusieurs sondages. Ces opérations démontrèrent que sur l'emplacement du nouveau tracé, on était certain de rencontrer le solide à des profondeurs variables, mais ne dépassant pas $8^m,10$ au-dessous de l'étiage de l'Habra.

On se mit immédiatement à la besogne, les fouilles de la rive gauche furent poussées activement, et dès le 14 août on avait déjà déblayé une grande partie de la fouille rive gauche jusqu'au grès solide, coulé la fondation en béton qui devait être arrasée à 4 mètres au-dessous du zéro et construit la fondation du massif de maçonnerie de moellons.

Le rocher descendait depuis la berge rive gauche jusqu'au milieu de la vallée. Il présentait à la séparation des grès et des poudingues une poche de plus de 8 mètres de profondeur et qu'on eut beaucoup de peine à déblayer. Pendant ces travaux difficiles, la rivière était soutenue au-dessous de la fouille par une forte digue en terre. Très-heureusement aucune crue importante ne vint contrarier les travaux pendant la saison des pluies, et au 17 février

1867 les maçonneries de la rive gauche étaient partout élevées à plus de 3 mètres au-dessus de l'étiage.

On put alors démolir la digue qui soutenait la rivière sur la rive gauche, et l'on commença les fouilles de la rive droite en se protégeant par une nouvelle digue, établie cette fois sur la rive droite de la rivière à laquelle on avait laissé un lit d'une largeur d'environ 25 mètres.

Le 15 avril 1867, le mur rive gauche était fondé jusqu'à 3 mètres au-dessus de l'eau et servait de rive gauche à la rivière. La fouille rive droite était a peu près terminée et le coulage du béton y était même commencé sur une grande partie de sa surface. L'Habra coulait au milieu dans l'espace laissé libre entre les maçonneries de la rive gauche et la digue de la rive droite.

On retrouva dans la fouille de la rive droite les bancs de grès de la rive gauche, et ces bancs, qui atteignaient une profondeur de près de 8 mètres vers le milieu de la vallée, se relevaient assez rapidement sur la rive droite tout en conservant partout leur direction plongeante vers l'aval. Lorsque le massif de la rive droite fut terminé et élevé partout au niveau de l'étiage, on procéda à un troisième détournement de la rivière. Un lit artificiel de 12^{m},50 fut ménagé à la surface de la maçonnerie de la rive droite, protégé sur sa gauche par une digue également en maçonnerie. On y introduisit les eaux et l'on commença à déblayer le sol dans la partie du mur non encore fondée, entre les deux massifs de la rive droite et de la rive gauche.

Les fondations furent prises assez rapidement, malheureusement l'état sanitaire du chantier était fort grave ainsi que nous le verrons tout à l'heure, et tous les travaux de la campagne 1867-68 en éprouvèrent un retard fâcheux. Au 10 octobre 1868, c'est-à-dire un an après, les maçonneries étaient presque partout élevées à 7 mètres au-dessus du zéro et la rivière passait encore à travers la brèche qui

lui avait été ménagée sur la rive droite, et qui ne fut fermée au moyen d'un batardeau qu'à la fin de l'année 1868.

A partir de ce moment la rivière s'écoulait à travers les orifices des évacuateurs et les maçonneries purent s'exécuter sans avoir à craindre, en temps ordinaire du moins, l'invasion des eaux.

L'exécution successive des fouilles offrit de grandes difficultés. Au début des travaux notamment, on dut reprendre les déblais de la fouille faits sur le premier tracé, déblais qui avaient été précisément mis en dépôt en aval sur l'emplacement du tracé définitif. On dut recourir souvent aux boisages et exécuter des épuisements continus pour mettre les terrassiers à l'abri de l'eau et des éboulements. Dans la plus grande partie de la fouille on fut obligé d'enlever les parties supérieures des bancs de grès qui ne présentaient pas une solidité suffisante, et les fondations furent descendues jusqu'à 8 ou même 9 mètres au-dessous du zéro. Une fois les fouilles préparées, elles étaient reçues par l'administration, et l'on procédait au coulage du béton qui était arasé à 4 mètres au-dessous du zéro.

Les travaux étaient exécutés en régie et l'autorité militaire avait mis à la disposition de la société les compagnies de détenus militaires. Pendant la saison d'été le chantier fournissait toujours un assez grand nombre de malades. La chaleur, les émanations des fouilles et des eaux stagnantes sont autant de causes morbides qui rendent toujours les travaux de terrassement difficiles pendant l'été en Algérie. Les Arabes, les Marocains et surtout les nègres résistent assez bien à ces influences qui s'attaquent surtout aux Français et même aux Espagnols. Dans le courant de juillet 1866, le chantier possédait 165 détenus militaires. Le 16 juillet, 20 malades étaient envoyés à l'hôpital de Mascara. L'année 1866 fut très-sèche, les sauterelles firent une apparition dans le mois de novembre. Pour comble de difficultés, les cotons, dont le prix s'était élevé pendant la

guerre d'Amérique à 175 francs, descendirent à 80 francs. C'était la ruine pour une grand nombre de cultivateurs de la province d'Oran.

Au mois de janvier 1867, l'enracinement du barrage sur la rive gauche était terminé. On avait fait 6.000 mètres cubes de maçonneries de moellons bruts.

On continua activement les travaux pendant l'hiver 1866-67. L'été de 1867 ramena des chaleurs excessives. Le journal du chantier constate qu'en juillet, 80 Marocains sur 130 et 20 détenus militaires sur 50 étaient en état de travailler. Une nouvelle année de sécheresse s'annonçait. Le débit de l'Habra descendait à 425 litres au barrage-réservoir et la disette sévissait cruellement dans le pays. Les Arabes ayant épuisé leurs approvisionnements et dévoré les fruits, les feuilles, les racines comestibles que la nature leur offrait comme dernière ressource, mouraient sur les grands chemins avec la résignation stoïque des fatalistes (*). Pour comble de malheur, le choléra et le typhus faisaient leur apparition sur les chantiers. Le 17 septembre 1867, un Arabe venu de Relizane importait à Oued-Fergoug le terrible fleau. Quelques jours après quatre nouveaux cas de choléra étaient constatés. Les malades succombèrent. Plus tard douze nouvelles victimes étaient emportées par la terrible maladie qui sévissait surtout sur les nègres. Toutes ces catastrophes successives n'étaient pas faites pour donner de l'activité au chantier. Cependant grâce à l'énergie du directeur qui n'abandonnait pas son poste au milieu de tous ces périls, les travaux continuaient. Vers la fin de 1868, les fondations du barrage dans la traversée en rivière étaient entièrement terminées, les plus grandes difficultés étaient vaincues et la compagnie résolut de faire terminer les

---

(*) Des fonctionnaires en position d'être bien informés nous ont affirmé que la disette de 1867 a causé la mort de trois cent mille Arabes dans la seule province d'Oran.

travaux à l'entreprise. Ils furent adjugés à M. Servat, entrepreneur à Alger, en février 1869.

A cette époque le mur était élevé de 4 à 8 mètres au-dessus de l'étiage de l'Habra et l'achèvement des travaux pouvait se faire à sec et sans épuisements. Cette partie de la construction ne nécessite aucune explication spéciale. Elle n'a guère offert qu'une seule difficulté. Lorsqu'on chercha à enraciner le barrage dans la montagne qui limite la rive droite et dans la direction de l'axe général de l'ouvrage, on reconnut qu'à cause de la direction plongeante des couches de grès, on allait être conduit à pénétrer dans la montagne à une grande profondeur. Pour éviter cet excès de dépenses, nous avons changé la direction de l'axe du barrage, qui présente ainsi sur la rive droite un pan coupé de 30 mètres de longueur faisant un angle de 160° environ avec la direction de l'axe général.

Pendant la guerre de 1870 et la commune, les travaux ont subi un ralentissement, mais sans être arrêtés complétement. Au mois d'août 1871, le barrage-réservoir de l'Habra était terminé.

Sa construction a donc duré cinq ans et neuf mois.

Si l'on tient compte des difficultés surmontées, de la perte de temps causée par l'erreur de tracé de l'axe, de la difficulté de se procurer des travailleurs et surtout des maçons dans un pays où la population est très-clair-semée et ne renferme aucun ouvrier spécial, si l'on se rappelle enfin les épidémies de toute nature, choléra, fièvres, typhus, qui ont sévi sur le personnel des travaux, on sera amené à penser qu'il était difficile de procéder avec plus de rapidité.

L'accident arrivé au déversoir le 10 mars 1872 obligeait à reprendre les travaux qui ont été définitivement terminés au mois de mai 1873.

Mise en eau du barrage de l'Habra. — Dans le courant de l'hiver 1871-72, on laissa monter les eaux dans le

réservoir. Au mois de janvier 1872, elles avaient déjà surmonté de 0,25 la crête du déversoir. L'ascension des eaux fut marquée par plusieurs circonstances intéressantes. Aussitôt que le niveau fut élevé à la cote 18 des suintements se firent jour dans la montagne rive droite à la cote 14. Leur débit était de 4 à 5 litres à la seconde. Plus tard, à la suite d'une petite crue, ces premiers suintements disparurent, mais une fuite plus importante de 10 à 12 litres à la seconde se déclara à la cote 20. On commença alors des recherches le long de la paroi aval du mur et l'on arriva à capter les eaux qui furent dirigées par un caniveau couvert en pierres sèches dans le bassin du jaugeur de la prise d'eau rive droite. Depuis cette époque les fuites de la rive droite ne paraissent pas avoir augmenté.

Quelques fuites peu importantes ont lieu également sur la rive gauche, mais leur volume est insignifiant, et en définitive la fondation de l'ouvrage est aussi étanche qu'on pouvait l'espérer étant donnée la composition schisteuse et non continue du rocher de fondation.

A partir du moment où les eaux se sont élevées à 10 ou 12 mètres dans le réservoir, des suintements ont apparu sur la face aval du mur du barrage. En général, ils commencent à 4 ou 5 mètres au-dessous du niveau de l'eau dans le réservoir. Dans les premiers temps de la mise en eau, ces suintements étaient considérables et faisaient ressembler le barrage à un immense filtre. Il ne faut pas oublier que la pierre employée pour la construction des maçonneries est un grès calcaire qui possède comme tous les grès des qualités de porosité. C'est à cette propriété qu'il faut attribuer les faits observés au barrage de l'Habra et qui ont vivement étonné les personnes qui l'ont visité. A la longue les eaux de suintement ont déposé sur le mur un glacis blanc, luisant, qui n'est autre chose sans doute que du carbonate de chaux analogue à celui des stalactites.

Nous inclinons à penser que ce dépôt provient d'un excès de chaux non transformé en silicate dans les mortiers hydrauliques et qui est entraîné en dissolution par les eaux filtrantes à la faveur de la pression exercée par les eaux du réservoir.

Une fois arrivée au contact de l'air, la chaux se carbonate et se dépose en concrétion sur les couches déjà formées. Quoique nous n'ayons pu faire aucune mesure exacte des suintements, nous pensons que leur débit diminuera avec le temps et qu'ils finiront par s'arrêter complétement. Il se fera dans l'intérieur du mur une sorte de colmatage, de même que cela a lieu dans les filtres ordinaires dont la puissance diminue à l'usage et finit par disparaître.

Le mur de l'Habra présente dans la traversée en rivière une partie droite de 35 de hauteur au-dessus de la fondation et 120 mètres de longueur encastrée sur la rive droite et raccordée sur la rive gauche avec une partie beaucoup moins élevée. La partie en lit de rivière peut donc être considérée comme encastrée à ses deux bouts et permettrait de résoudre une question intéressante, celle de savoir si un pareil mur, qui n'offre pas de trace de disjonction et qui doit fonctionner à la manière d'un monolithe homogène, fléchit sous l'action de sa charge. Nous n'avons pas pu encore réaliser cette observation assez délicate faute d'instruments et de personnel. Il est à désirer qu'elle soit faite, car elle permettrait d'avoir sinon la mesure, au moins l'ordre de grandeur encore inconnu de l'élasticité des maçonneries.

Composition des maçonneries. — La construction d'un mur de grand barrage n'est possible qu'à la condition que les matériaux de construction existent sur place, ou tout au moins à une petite distance de l'ouvrage. Cette circonstance s'est trouvée réalisée au barrage de l'Habra. Les bancs de grès tertiaires sur lesquels est fondé le mur se relèvent sur les deux rives de l'Habra, et sur la rive gauche

notamment, ils forment la berge même de la rivière. Ces pierres ont fourni le caillou, le moellon et la pierre de taille. Leur qualité était assez variable. Certains bancs étaient fort durs, d'autres avaient une structure schisteuse et ne présentaient guère que la consistance des pierres dites demi-dures. En général, on n'a employé que les pierres dures.

Les carrières s'étendaient dans un rayon de 1.500 mètres autour du barrage. Les pierres extraites étaient chargées sur des wagons et amenées sur le mur par un petit chemin de fer à rails de 7 kilogrammes le mètre courant. Les wagons descendaient par la gravité et étaient poussés à la remonte par des manœuvres indigènes.

Au début des travaux le sable avait été pris dans la rivière de l'Habra, dans le réservoir lui-même; mais lorsque le mur s'éleva au-dessus de la rivière, les eaux devinrent stagnantes et les sablières furent envasées. On dut rechercher des carrières de sable et l'on en découvrit une à 700 mètres en aval du barrage. Le sable était chargé dans des couffins, sorte de paniers en sparterie, et portés à dos par des bourricaux. Comme qualité, il était pur et très-fin, trop fin même pour la bonne exécution des mortiers.

Le projet du barrage dressé par l'administration des ponts et chaussées stipulait que le corps du barrage serait construit en maçonnerie de moellons bruts hourdée en mortier de chaux hydraulique et terre rouge, sauf une bande de 2 mètres d'épaisseur sur les parements extérieurs qui serait exécutée en maçonnerie hydraulique ordinaire de chaux et sable. Les terres rouges de l'Oued Fergoug sont des sables argilo-calcaires légèrement ferrugineux. Leur mélange avec la chaux hydraulique donne lieu à un mortier hydraulique qui est loin de présenter la résistance du mortier de chaux et sable à cause de l'excès d'argile qu'il contient et qui s'élève de 22 à 44 p. 100 du poids de la terre rouge. Comme d'ailleurs l'extraction de la terre rouge ne donnait pas sensiblement d'économie sur celle du sable, on

a renoncé complétement au mortier de terre rouge et les mortiers ont été composés uniformément de deux parties de sable et d'une partie de chaux hydraulique de l'Oued Fergoug en poudre, le tout mesuré au volume. Les bétons étaient composés également de deux parties de cailloux pour une de mortier.

La chaux était fabriquée dans des fours à la houille établis dans un rayon de 1.500 mètres autour du barrage au moyen des calcaires marneux de la rive droite de l'Habra. Ces calcaires renfermaient de 1 à 10 p. 100 de sable et de 16 à 31 p. 100 d'argile.

La chaux ainsi produite peut être classée parmi les chaux hydrauliques ordinaires. Au fur et à mesure de son arrivée sur le chantier, la chaux en pierre était conservée dans un magasin, puis successivement éteinte par aspersion, criblée et blutée. Son hydraulicité était constamment vérifiée par la confection d'hydrates qu'on expérimentait avec l'aiguille Vicat. La prise avait lieu au bout de cinq jours environ.

Conclusions. — Les comptes de dépenses du barrage de l'Habra n'étant pas définitivement arrêtés, il nous est impossible de les produire ici, et pour donner à cette notice une conclusion pratique, nous résumerons ici les diverses observations que la construction de ce grand ouvrage nous a permis de faire.

1° Le choix de l'emplacement d'un barrage est une opération très-importante à laquelle on ne saurait apporter trop de soins. La constitution géologique du sol doit être parfaitement connue. L'emplacement doit satisfaire à la triple condition d'offrir une fondation solide, d'être à proximité des carrières et d'être d'un accès facile pour l'approche des matériaux.

2° Nous pensons que même avec des matériaux ordinaires comme ceux qui ont été employés au barrage de l'Habra, on peut, sans inconvénient, augmenter la limite de

résistance des maçonneries admise dans le mode de calcul en usage. On peut la porter à 8 kilogrammes avec des matériaux de qualité ordinaire et à 10 kilogrammes avec des matériaux de très-bonne qualité comme ceux qui ont été employés dans les barrages de la Haute-Loire (granit et chaux du Theil). Très-probablement cette limite peut être dépassée sans inconvénient si le barrage est étroit et bien enraciné par les côtés. L'exemple des barrages espagnols est là pour démontrer que la maçonnerie peut résister à des pressions bien supérieures à 10 kilogrammes.

3° L'ouvrage doit être pourvu d'un déversoir de superficie, d'évacuateurs et de prises d'eau. Pour l'écoulement des crues, il ne faut compter que sur le déversoir.

Les évacuateurs servent au curage et au dévasement du réservoir.

4° Le déversoir doit être généralement établi comme le mur du barrage lui-même sous la forme d'un mur plein avec profil aval en sinusoïde.

5° Les évacuateurs pourront être fermés par des vannes à coulisses, mais à la condition de les lever de temps en temps pour éviter que les vases se déposent contre les vannes et les scellent sur leur siége. Les appareils de manœuvre des vannes doivent être très-vigoureux. Le meilleur système de manœuvre nous paraît être celui des presses hydrauliques actionnées par un accumulateur général. Ce système évite les transmissions de mouvement par engrenages ou par vis qui sont d'un entretien très-difficile. Il permet l'ouverture et la fermeture presque instantanée des vannes.

Il vaut mieux, tant au point de vue de l'efficacité du curage qu'au point de vue de la facilité de la manœuvre, fractionner le débouché des évacuateurs.

6° La même observation s'applique aux robinets des prises d'eau. Les gros robinets sont toujours d'une manœuvre dif-

ficile. Il ne nous paraît pas qu'il y ait avantage à dépasser un diamètre de $0^m,60$.

Beaucoup de questions importantes restent encore incertaines, et notamment la question si importante du dévasement. L'expérience seule pourra prononcer sur ces difficiles problèmes qui se trouvent posés au barrage de l'Habra sur des proportions inusitées jusqu'à ce jour.

Le projet du barrage de l'Habra a été préparé par les soins de M. Debrousse, président du conseil d'administration de la société, et vérifié par M. Féburier, inspecteur général des ponts et chaussées, ingénieur-conseil de la société. Nous ne sommes intervenu dans la rédaction des projets que pour le nouveau déversoir et les prises d'eau. Les travaux ont été exécutés sous notre direction depuis 1869; mais c'est à la haute direction de M. Debrousse et à la surveillance plus immédiate de M. Barrellier, représentant de la société en Algérie, que revient tout l'honneur de ce travail remarquable qui a demandé, pour être mené à bien, une persévérance et une capacité bien rares. M. l'ingénieur en chef Aucour, initiateur de l'œuvre, a eu le contrôle de la construction et a tenu à opérer la réception du barrage avant de prendre sa retraite.

III. — Assainissement de la plaine de l'Habra.

État ancien de la plaine de l'Habra. — La plaine de l'Habra commence à Perrégaux et s'étend vers la mer Méditerranée sur une longueur d'environ 24 kilomètres. Sa pente générale, qui est de 3 à 4 mètres par kilomètre dans la partie supérieure, diminue progressivement de manière à se réduire presque à zéro dans le bas. Cette circonstance, jointe à l'instabilité du débit des cours d'eau, débit qui n'est que de quelques centaines de litres en été, explique comment l'Habra et ses affluents ne peuvent se frayer un

passage vers la mer et se constituer à l'état permanent un lit naturel.

Antérieurement aux travaux d'assainissement, l'Habra se perdait au milieu de la plaine à 10 kilomètres en aval de Perrégaux. Le Sig disparaissait avant son entrée sur les terres comprises dans le périmètre de la propriété de l'Habra et le Tinn s'arrêtait à 7 kilomètres en amont du pont de la Macta. Pendant la saison des pluies, ces cours d'eau, dépourvus de lit naturel en aval des points que nous venons d'indiquer, divaguaient dans la plaine, l'inondaient dans une grande partie de son étendue et en faisaient un marais anciennement connu sous le nom de marais de la Macta (nom rendu historique par une bataille qui ne tourna pas à l'avantage de nos armes). Les crues s'écoulaient peu à peu à la mer à travers le goulet de la Macta; les chaleurs de l'été achevaient d'assécher le marais en évaporant les eaux stagnantes et en produisant en même temps des émanations paludéennes. Celles-ci transportaient dans le pays le germe de fièvres très-redoutées et qui avaient fait à la plaine de la Macta une sinistre réputation. Il était impossible de songer à coloniser la plaine de l'Habra sans conjurer le fléau périodique des inondations et des épidémies. Aussi le cahier des charges de la concession imposait-il au concessionnaire l'obligation d'exécuter les travaux d'assainissement de la plaine.

Ainsi qu'on a pu le comprendre au simple exposé des faits, la plaine de l'Habra rentrait dans la catégorie des terres dites terres humides. Il suffisait donc d'appliquer le remède ordinaire pour assainir ce genre de terrains, savoir :

1° Assurer en tout temps l'écoulement des eaux des rivières vers la mer ;

2° Protéger les terres riveraines contre l'envahissement des eaux de crues.

Exposé général des travaux d'assainissement. — Les ingénieurs avaient prévu pour chacune des trois rivières,

l'Habra, le Sig et le Tinn, un système de canalisation consistant en un *lit mineur* de dimensions appropriées au débit ordinaire de chaque rivière compris entre deux digues, laissant entre elles un intervalle suffisant pour offrir aux eaux de crues un *lit majeur* capable de les débiter.

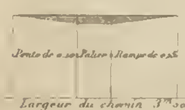
La *fig.* 6, Pl. 11, donne en traits ponctués le plan des endiguements prévus par les ingénieurs. L'endiguement de l'Habra partait du barrage de dérivation dit barrage Saint-Maur, se dirigeait vers la route départementale de Mascara à Mostaganem qu'il longeait sur 7 kilomètres, décrivait une grande courbe en suivant la limite de la concession de l'Habra, recevait sur sa droite les eaux du Tinn et se dirigeait vers le bas de la plaine en côtoyant le pied de la montagne des Abid-Cheragas.

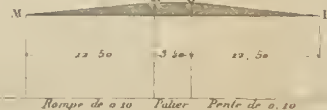
La largeur du lit majeur de l'Habra augmentait progressivement de 450 mètres à 900 mètres. Le lit mineur avait 1 mètre de profondeur et une largeur au plafond variable de 3 mètres à $4^{m},50$.

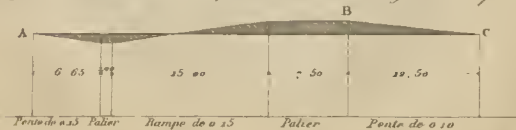
L'endiguement du Sig pénétrait dans la propriété vers le milieu de la limite ouest, la coupait en son milieu et rejoignait par une grande courbe l'endiguement de l'Habra vers la pointe des Oliviers. La largeur de son lit majeur était fixée à 500 mètres. Son lit mineur devait avoir 1 mètre de profondeur et 4 mètres de largeur au plafond. Enfin la digue rive gauche du Sig devait être reliée à la montagne des Hamians par une digue de 1 mètre de hauteur, afin de constituer entre cette digue et la mer un réservoir d'une superficie de 3.000 hectares pouvant contenir 42 millions de mètres cubes d'eau et assurant ainsi l'emmagasinement des crues qui, dans l'état naturel des lieux, ne trouvent pas dans le lit de la Macta un débouché suffisant. En effet, depuis le pont de la Macta jusqu'à la mer, sur 4 kilomètres environ, le lit de la rivière, qui n'est séparé de la mer que par une bande mince de dunes, ne présente guère qu'une largeur de 20 mètres et une pente à peu près nulle. Aussi

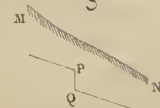
ax Poales
E.F.
rtiteur
uivant C D
2.37
0,475
3.5
2.25
A
B
nde
Chemin
2.00
le l'endiguement de l'Habra
uivant AB
variable de 600 à 1100m
2.97
ineur
50 au dessus de la crete des digues
60 60 60
4.70
80
1.00
4,75
3,00
4,10
2,75
1,00
4.875
4.875
4.20
4.20
05
Echelle B de 0m 005 p
2 3 4 5
Gravé par E. Perot

MISE EN VALEUR DE LA PLAINE DE L'HABRA


A Fig. 1 Passage à gué sur un lit mineur


A Fig. 2 Passage du chemin de ronde. Coupe MNOP


A Fig. 3 Traversée de l'emprunt et de la digue. Coupe ABC


Fig. 5.

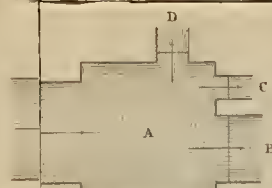
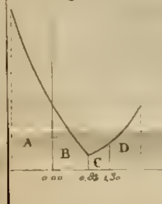

Fig. 9


Fig. 10 Bouche d'un partiteur


Fig. 11

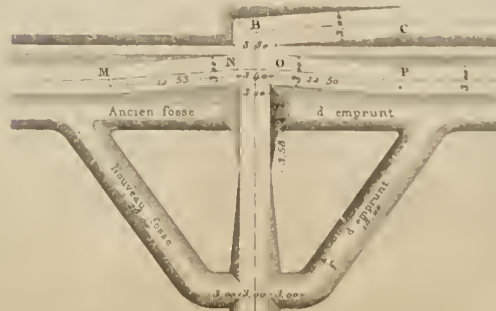

A. Fig. 4 Plan du passage par dessus la digue

Fig. 7.

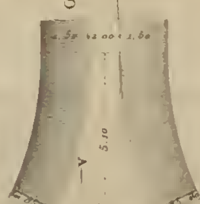
Fig. 8

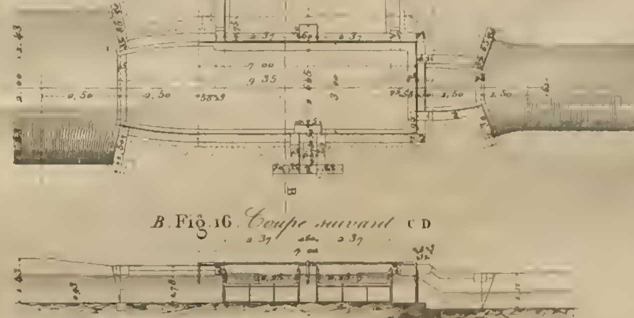
Canaux principaux

B. Fig. 12 Profil type en déblai

B Fig. 13. Profil type en déblai

B Fig. 14. Profil type en remblai

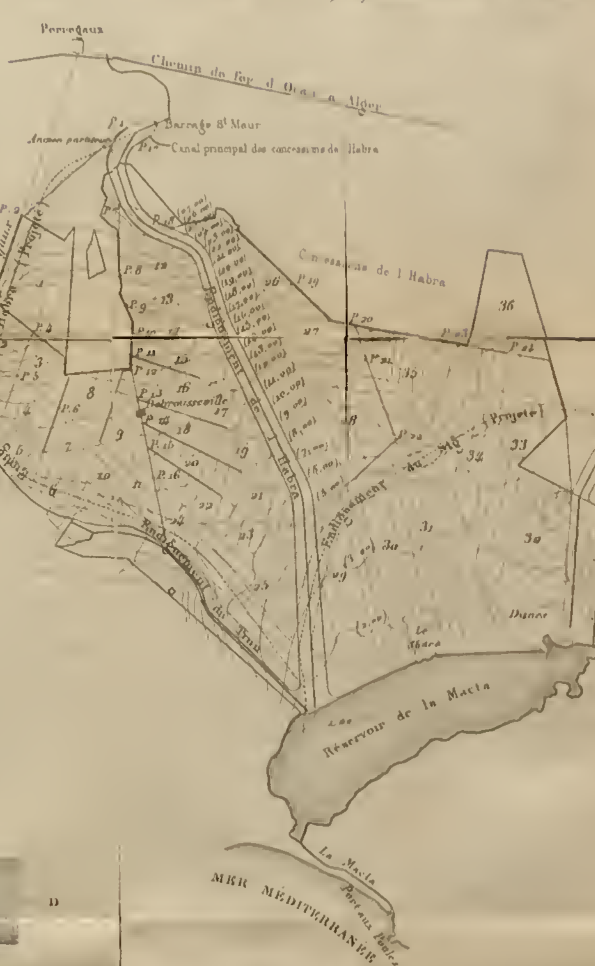

Partiteur
B Fig. 15. Plan

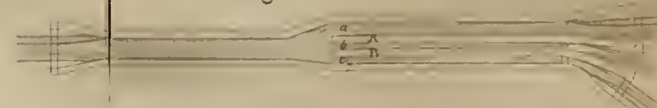


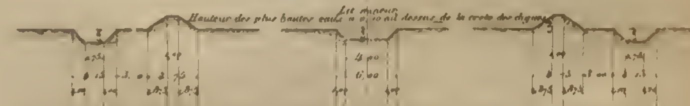

B. Fig. 16. Coupe suivant CD

B. Fig. 17. Coupe suivant AB


Echelle A de 0m00167 pour 1m — Echelle B de 0m005 pour 1m


C Fig. 6 Plan général de ... l'Habra


Fig. 18 Partiteur


A. Fig. 19 Profil en travers de l'endiguement de l'Habra

de tout temps les eaux de la Macta, à la suite des crues, ne s'écoulaient-elles dans la mer que très-lentement. Avant la construction du barrage-réservoir du Sig, les eaux de crues s'élevaient dans la plaine de la Macta jusqu'à la cote 3 mètres et couvraient une superficie de 5.400 hectares avec un volume emmagasiné de 54 millions de mètres cubes d'eau. On devait considérer comme très-probable que l'exécution des deux barrages-réservoirs de l'Habra et du Sig, dont les réserves réunies s'élèvent à 35 millions de mètres cubes, modifieraient très-sensiblement le régime des rivières.

L'adoption d'un système d'endiguement permettant d'emmagasiner dans le bas de la plaine un volume d'eau de 42 millions de mètres cubes, paraissait donner toutes les garanties désirables. Comme d'ailleurs les lits mineurs de l'Habra et du Sig devaient être prolongés jusqu'au pont de la Macta, il n'y avait pas à craindre que les eaux ordinaires de la rivière convertissent en marais l'espace compris sous la digue de ceinture et destiné à fonctionner comme réservoir des crues.

Telle était l'économie générale du projet d'assainissement de la plaine de l'Habra.

Ce projet, dans son ensemble, présentait plusieurs inconvénients :

1° L'endiguement de l'Habra coupait l'accès de la propriété à la route de Mostaganem (*).

2° L'endiguement du Sig isolait au nord une étendue de terrain de 7 à 8,000 hectares qu'il pouvait inonder en cas de rupture des digues.

(*) De plus, cet endiguement n'était pas établi suivant la ligne de plus grande pente de la plaine; on devait craindre qu'en cas de rupture des digues les eaux vinssent inonder une grande étendue de terres en culture, ce qui aurait occasionné de grands dommages.

3° Le tracé courbe des endiguements leur donnait un développement considérable.

Aussi la société de l'Habra et la Macta proposa-t-elle au projet des modifications très-importantes. Au lieu d'adopter le système des tracés en courbes, elle adopta le système du *plus court chemin* et sépara complétement les trois endiguements de l'Habra, du Sig et du Tinn. Ces propositions furent approuvées par l'administration, et le projet a été exécuté tel quel (*fig.* 6, le tracé en traits pleins).

L'endiguement de l'Habra part du barrage Saint-Maur, suit la direction de l'ancien lit naturel de l'Habra jusqu'à l'endroit où il se perd, et à partir de là se dirige presque en ligne droite sur le pont de la Macta. Il s'arrête à la limite du *réservoir* qui est conservé dans le nouveau projet comme dans le projet primitif.

Le Sig est amené à l'angle nord-ouest de la propriété et son endiguement en forme la limite. Il est rejeté dans un bas-fond marécageux entre les dunes et la montagne des Hamians.

Le lit naturel du Tinn est conservé comme lit mineur sur la plus grande partie de son cours. A l'aval du marabout Sidi-Brahim, on lui a creusé un lit mineur artificiel. De cette manière, l'endiguement du Tinn forme la limite nord-est de la propriété. Les parties situées au delà de son endiguement sont placées à flanc de coteau, par conséquent non irrigables.

La digue rive droite de l'Habra se raccorde avec la digue du Tinn par une courbe. La digue rive gauche de l'Habra est reliée à l'endiguement du Sig par une digue qui se rattache à l'îlot le Sbara et qui de là se dirige sur les dunes. Cette digue de ceinture limite le réservoir de la Macta.

Les avantages de cette disposition générale sont nombreux.

1° La plaine n'est traversée que par l'endiguement de l'Habra qui la coupe en deux parties à peu près égales,

assez importantes chacune pour avoir leur autonomie spéciale et se suffire à elles-mêmes.

2° Les endiguements du Sig et du Tinn servent de limite aux zones irriguées de la propriété; de plus, étant placés à l'aval, les ruptures des digues ne sont pas à craindre sur ces rivières.

3° L'endiguement de l'Habra traverse à peu près la plaine suivant sa ligne de plus grande pente. En cas de rupture des digues, les dommages causés seront réduits au minimum.

4° Enfin le plan général des endiguements diminue la longueur des digues et des lits mineurs dont le cube total était évalué dans le projet primitif à 433.000 mètres cubes. Cependant, par suite de circonstances imprévues, ce cube a été à peu près atteint.

Endiguement de l'Habra. — Le lit mineur de l'Habra emprunte, comme nous l'avons dit, l'ancien lit naturel de la rivière jusqu'au point où il se perdait autrefois. A partir de ce point, il est constitué par une fosse de 4 mètres de largeur au plafond et 1 mètre de profondeur avec talus à 45°. Depuis l'exécution des travaux, ce lit artificiel s'est considérablement élargi et approfondi. Les terrains de la plaine de l'Habra consistent en sables plus ou moins argileux, faciles à affouiller par le pied, mais qui tiennent sous des talus très-roides qui approchent de la verticale. Grâce à la régularité du tracé du lit mineur, l'agrandissement de ce lit s'est fait sans déviations, et aujourd'hui les eaux ordinaires de l'Habra, lorsqu'elles sont surabondantes pour les irrigations, coulent dans un lit qui a 10 à 15 mètres de largeur et 3 à 4 mètres de profondeur avec une pente variant de 1 mètre à 4 mètres par kilomètre. Cet agrandissement du lit mineur s'est fait sentir dans toute la partie de la rivière supérieure à la cote (4 mètres). Au-dessous, les pentes diminuent notablement. Elles s'abaissent jusqu'à $0^m,40$ par kilomètre, l'écoulement devient plus lent et le lit

mineur a plutôt une tendance à se combler. Les digues de l'Habra ont $1^m,25$ de hauteur, 1 mètre de largeur en couronne et des talus réglés à 1 1/2 de base pour 1 de hauteur.

Dans le but d'utiliser les fossés d'emprunt des digues comme fossés d'assainissement, nous avons fait établir sur les raccordements de la digue de l'Habra avec celle du Tinn, d'une part, et avec la digue de ceinture du réservoir, d'autre part, des vannes à clapets automatiques qui permettent la rentrée des eaux d'assainissement dans le réservoir de la Macta, tout en s'opposant à la sortie des eaux de crues du réservoir.

La longueur totale de l'endiguement de l'Habra est d'environ 20 kilomètres.

Le débit du lit artificiel créé pour l'Habra, calculé au moyen des cofficients de M. Bazin, peut être évalué à 720 mètres cubes dans la haut de la plaine, 300 mètres cubes dans la bas.

Ces chiffres sont inférieurs au débit de l'Habra dans les grandes crues, mais il faut remarquer que le lit de l'Habra entre le barrage-réservoir et le barrage Saint-Maur sur un parcours de 18 kilomètres renferme de nombreux cirques qui emmagasinent une grande partie du produit des crues. On ne peut guère estimer la capacité du lit occupé par les crues à moins de 10 millions de mètres cubes. Comme d'ailleurs sur ce parcours l'Habra ne reçoit aucun affluent important, il nous paraît bien certain que le débit de 700 mètres cubes au barrage-réservoir doit s'atténuer considérablement dans la plaine. En second lieu, la volume des crues va toujours en diminuant de l'amont à l'aval, et il paraît bien probable qu'en aucun cas ce débit ne dépassera 240 mètres cubes au confluent de l'Habra et de l'Oued Tinn.

Endiguement du Sig. — Dans l'endiguement du Sig, les digues et les fossés d'emprunt sont disposés comme ceux de l'Habra, mais le lit mineur est réduit à 2 mètres de lar-

geur au plafond, 1 à 2 mètres de profondeur avec talus à 45°. La longueur de la digue rive droite est de 8.200 mètres, celle de la digue rive gauche de 3.850 mètres et celle du lit mineur 7.250 mètres.

Depuis l'exécution des travaux le lit mineur s'est beaucoup agrandi tant en largeur qu'en profondeur, quoique les crues du Sig soient rares et peu importantes depuis que les eaux sont retenues par le barrage-réservoir élevé sur cette rivière à 2 kilomètres en amont de Saint-Denis du Sig. La pente moyenne du lit majeur du Sig est de $1^m,20$ par kilomètre.

On peut évaluer le débit du lit du Sig à 58 mètres cubes par 100 mètres de largeur. La largeur atteint 500 mètres dans la partie où s'applique la pente de $0^m,0012$; par suite le lit majeur du Sig pourra débiter près de 300 mètres cubes sans que les digues soient compromises.

Endiguement du Tinn. — L'Oued Tinn n'a pas de bassin bien délimité. Ce cours d'eau s'alimente des eaux pluviales qui s'écoulent sur le contre-fort d'Ain-Nouissi et de Fornaka, mais on doit plutôt considérer l'Oued Tinn comme le prolongement de l'Oued Mélah, rivière qui coule parallèlement à l'Habra et sort des montagnes des Beni-Chougran, traverse le chemin de fer d'Alger à Oran sous un pont de 25 à 30 mètres à 12 kilomètres à l'est de Perrégaux et se perd presque immédiatement dans la plaine faute de lit mineur pour assurer son écoulement. Lors des crues, l'Oued Mélah, qui débite au moins 100 mètres cubes à la seconde et dont le bassin hydrographique en amont de la plaine est d'au moins 30.000 hectares, l'Oued Mélah disons-nous, inonde la plaine sur le territoire des Borgias, traverse la route de Mascara à Mostaganem et se répand jusque dans la propriété de l'Habra. L'exutoire naturel de ses eaux est précisément l'Oued Tinn.

La société a élevé les digues de son canal de l'Est pour se défendre contre cette inondation, mais il est facile de voir

que cette précaution n'est qu'un palliatif et que l'assainissement de la plaine exige que l'Oued Mélah soit endigué dans la plaine des Borgias comme l'Habra l'a été dans la plaine de l'Habra, et que l'endiguement de l'Oued Mélah se rattache à celui du Tinn qui en est le prolongement naturel. Jusqu'à présent le Tinn seul a été endigué sur sa rive gauche. On lui a ouvert un lit mineur jusqu'à son confluent avec l'Habra à la pointe des Oliviers. C'est à l'administration qu'il appartient de prolonger l'endiguement du Tinn jusqu'au pont de l'Oued Mélah sous le chemin de fer d'Alger à Oran.

Le lit mineur du Tinn a une largeur de $1^{m},75$ au plafond, 1 à 2 mètres de profondeur et des talus à 45°. Sa digue de rive gauche est établie comme celle de l'Habra et du Sig.

Endiguement du réservoir de la Macta. — Les trois rivières, l'Habra, le Sig et le Tinn convergent ainsi vers le bas de la plaine. L'Habra et le Tinn, aboutissent au même point. Leurs digues sont reliées à celles du Sig au moyen d'une digue qui rattache, d'une part la digue rive gauche de l'Habra à l'îlot dit le Sbara sur une longueur de 3.500 mètres et le Sbara à la digue des Hamians sur une même longueur de 3.500 mètres. Cette digue clôt le réservoir de la Macta ainsi que nous l'avons dit. Des vannes à clapets sont ou seront établies par la suite pour permettre l'entrée des eaux d'assainissement de la plaine dans le réservoir.

Les digues du réservoir ont les mêmes dimensions que celles de l'Habra.

Exécution des travaux. — Lorsque les travaux d'endiguement de la plaine de l'Habra ont été commencés, cette plaine était absolument dépourvue de population et d'abris. Les marais de la Macta et du Sig engendraient une insalubrité des plus dangereuses, et l'on conçoit sans peine que l'exécution des terrassements sur un parcours de plus de 105 kilomètres et dans de pareilles conditions a dû offrir

de grandes difficultés matérielles et morales. Les mouvements de terre donnent toujours lieu à des émanations pernicieuses capables de produire des épidémies de fièvres paludéennes. Ce fait signalé dès le XVIIe siècle, lors de l'exécution des premières routes nationales sous Louis XIV, a été confirmé bien souvent depuis dans les travaux modernes. La fièvre *tellurique*, si l'on peut ainsi l'appeler, a sévi bien plus cruellement encore dans les travaux de terrassements exécutés en Algérie et notamment dans la plaine de l'Habra. Il a été constaté que les Français résistaient difficilement à son action pernicieuse. Les Espagnols et les Marocains surtout la supportent beaucoup mieux. Le cahier des charges des terrassements faisait même à l'entrepreneur des endiguements une obligation d'employer de préférence des ouvriers indigènes. Malgré ces précautions, les chantiers ont été atteints de l'épidémie à diverses époques.

En 1870, des ateliers de condamnés militaires ont été employés aux endiguements du Sig. Malgré l'économie apparente de ce genre de main-d'œuvre, il ne semble pas que les entrepreneurs aient trouvé un grand avantage dans son emploi. Le salaire des ouvriers était très-réduit, mais la quantité de travail produite était réduite en proportion. Les ouvriers espagnols employés à la tâche donnaient un meilleur résultat.

Il convient d'ajouter que dans le cas où des entrepreneurs exécutent des travaux loin de tout centre de population, ils s'improvisent cantiniers de leurs ateliers et recouvrent sous cette forme un bénéfice qui suffit à lui seul pour leur assurer une rémunération très-convenable. Avec les ateliers militaires qui sont nourris par l'intendance, ce genre de bénéfice leur échappe, et c'est cette circonstance qui rétablit l'équilibre de prix de revient entre les deux genres de main-d'œuvre civile et militaire.

Passage à travers les endiguements. — Pour établir les communications entre les deux côtés des endiguements de

l'Habra, nous avons étudié un système de rampes et de gués, qui tout en conservant au fossé d'emprunt sa pente naturelle, permet l'accès du dessus des digues.

Les *fig.* 1, 2, 3, 4, Pl. 11, représentent en plan et profils la disposition adoptée.

Ces passages n'exigent qu'un mouvement de terres d'environ 90 mètres cubes.

Ils sont donc très-économiques et dispensent de la construction d'un pont sur le fossé d'emprunt.

*Assainissement au moyen de plantations d'*eucalyptus globulus. — Nous ne croyons pas inutile d'ajouter ici quelques mots sur un travail qui nous paraît en Algérie le complément nécessaire de tout assainissement superficiel du sol : nous voulons parler des plantations forestières.

L'Algérie doit à M. Ramel, d'Alger, la conquête d'un arbre précieux, l'*eucalyptus globulus*, importe d'Australie il y a une douzaine d'années environ.

Les caractères spécifiques de cet arbre remarquable sont les suivants : 1° Sa croissance est d'une rapidité tellement exceptionnelle qu'elle tient du prodige. En quinze mois nous avons vu des arbres acquérir une hauteur de tige de 6 mètres et un diamètre de 10 centimètres au collet. En cinq ou six ans l'*eucalyptus* arrive à un diamètre de 30 à 35 centimètres. 2° Malgré cette croissance rapide, son bois est extrêmement dur, sa tige est droite, et tout porte à croire qu'il donnera d'excellents résultats dans les constructions et surtout quand on l'emploiera comme traverse de chemin de fer. 3° Sa feuille distille une huile essentielle d'une odeur fortement aromatique. Employée en infusion, elle combat la fièvre paludéenne avec tant d'efficacité que l'*eucalyptus globulus* pourrait passer pour un succédané du quinquina. Les plantations forestières d'*eucalyptus* ont déjà donné, au point de vue de l'assainissement de l'atmosphère, des résultats surprenants.

Nous tenons de feu M. Saulière, propriétaire aux environs

d'Alger, que la plantation en *eucalyptus globulus* d'une superficie de 4 hectares a suffi pour assainir complétement une usine à eau tellement insalubre que les fermiers n'y pouvaient habiter. Aujourd'hui la fièvre est inconnue autour de l'usine. Les colons algériens commencent à comprendre l'utilité de cet arbre précieux, et les plantations d'*eucalyptus* se développent rapidement.

Sur notre demande, la société de l'Habra a planté sur son domaine, en 1872, 100.000 pieds qui lui ont été fournis en pots par le jardin du Hamma à Alger. Malheureusement cette plantation n'a pas été soignée dans toutes ses parties et un grand nombre d'arbustes ont péri presque aussitôt après leur plantation; mais la société possède encore 25.000 pieds de 3 à 6 mètres de hauteur qui sont âgés de dix-huit mois, et dont l'influence bienfaisante se fera certainement sentir dans les environs au bout d'un petit nombre d'années. Cette plantation est revenue en nombres ronds à 75.000 francs, soit $0^{f},75$ par pied. Ce prix pourrait être notablement abaissé si l'on faisait les semis sur place, mais il ne nous paraît pas que la plantation d'un *eucalyptus* puisse coûter généralement moins de $0^{f},50$ par pied.

L'*eucalyptus* est un arbre des zones tempérées. Il craint la gelée et le vent. Nous ne pensons pas qu'il puisse être acclimaté d'une façon convenable en France, excepté dans les stations hivernales de la Méditerranée.

Le projet des endiguements de la plaine de l'Habra a été préparé par les soins de M. Debrousse, président du conseil d'administration de la société, sur les conseils de M. Féburier, inspecteur général des ponts et chaussées, et remanié par nous en cours d'exécution en ce qui concerne le Sig et le Tinn. Il a été exécuté à l'entreprise sous notre direction et sous la surveillance de M. Barrellier.

IV. — Irrigations de la plaine de l'Habra.

1° *Système de distribution des eaux d'irrigation en Algérie.*

Le système de distribution des eaux d'irrigation en Algérie, ou du moins dans la province d'Oran qui est la seule que nous connaissions bien et à laquelle s'appliqueront les études qui suivent, est entièrement calqué sur le système espagnol, et cela s'explique suffisamment par l'analogie des deux pays : les conditions climatériques, le régime des cours d'eau, la nature des cultures sont à peu près les mêmes.

Les grandes irrigations de la province d'Oran sont toutes effectuées au moyen de barrages de dérivation ou de barrages-réservoirs. Il existe des réservoirs sur le Sig et sur le Tlélat et des barrages de dérivation sur la Mina à Relizane, sur le Sig à Sidi-bel-Abbès et sur l'Habra à Perrégaux. Jusqu'à présent l'administration a construit tous les ouvrages aux frais de l'État, et elle en a fait la remise aux usagers constitués en syndicats ; mais dans tous les cas elle a posé le principe de l'annexion de l'eau à la terre, de sorte qu'il n'est pas permis de vendre la terre sans vendre en même temps son droit à l'eau d'irrigation. Il en résulte que le périmètre irrigable, le barrage-réservoir et son système de canaux et de partiteurs constituent un ensemble invariable qui ne subira jamais de modifications dans l'avenir, à moins d'une révision des statuts des syndicats.

Des cultures arrosées en Algérie. Cultures d'hiver. Cultures d'été. Volumes d'eau nécessaires. — On peut dire qu'en Algérie, ou au moins dans la province d'Oran, aucune culture productive ne peut avoir lieu sans eau. L'eau a donc une grande valeur ; aussi l'emploie-t-on avec la plus grande économie.

Les cultures d'été de la plaine sont le coton, le maïs, le

lin, le sésame. Le coton, pour la culture duquel a été faite spécialement la concession du domaine de l'Habra, se sème à la fin de mars, lève en avril ou mai et se récolte en novembre ou décembre. L'année suivante, en février, on taille les vieux cotons, et ils donnent une seconde récolte ; en général, on les arrache après la deuxième année.

Les cultures d'été, spécialement le coton, s'arrosent en moyenne pendant cinq mois, mai, juin, juillet, août, septembre, et le volume d'eau reconnu nécessaire est équivalent au débit continu de 1/2 litre par seconde et par hectare pendant ces cinq mois ; cela donne un volume total, pour la saison, de

$$5 \times 30 \times 86^{m},400 \times \frac{1}{2} = 6.480 \text{ mèt. cubes.}$$

Ce volume est ordinairement distribué en dix arrosages de $0^{m},064$ d'épaisseur chacun. Il est reconnu en effet, même en France, qu'il faut au moins 6 centimètres d'épaisseur d'eau pour imbiber la terre.

Les arrosages algériens sont ordinairement effectués par des Espagnols. Ces ouvriers entendent parfaitement ce genre de travail. Ils ne pratiquent d'ailleurs que l'arrosage par submersion.

On peut remarquer combien les volumes d'eau employés sont exigus : en France ou en Italie, on compte en moyenne 1 litre d'eau continu par hectare de culture d'été. Pour les jardins, ce volume s'élève à $1^{lit},50$ et au-dessus ; les rizières d'Italie consomment $2^{lit},50$; mais dans tous les cas précédents, même pour les arrosages à 1 litre, les colatures sont assez importantes et nécessitent l'établissement de canaux spéciaux pour éviter les stagnations d'eau.

En Algérie, on n'établit pas de colateurs ; l'eau est entièrement absorbée ou bien le surplus s'écoule dans les canaux d'irrigation situés à l'aval des parcelles.

Les cultures d'hiver sont les céréales, le blé, l'orge, l'avoine et les fourrages. Les irrigations d'hiver ont lieu

deux ou trois fois selon que les années sont plus ou moins pluvieuses. Souvent on arrose avant de labourer en novembre, afin d'ameublir la terre. On sème en même temps qu'on laboure, et même les Arabes sèment avant de labourer. La moisson a lieu en avril et mai.

On estime que l'irrigation des cultures d'hiver réclame le débit continu par hectare pendant sept mois de $\frac{1}{6^e}$ de litre, soit un volume total de

$$7 \times 30 \times 86^m,400 \times \frac{1}{6} = 3.024 \text{ mèt. cubes ou } 3.000 \text{ mèt. cubes}$$

en trois arrosages. Cela donne par arrosage 1.000 mètres cubes, soit une couche de $0^m,10$ d'épaisseur. En Italie, les marcites ou prés d'hiver consomment 42 litres par hectare, et M. Mangon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a établi que les irrigations des Vosges consommaient jusqu'à 60 litres.

En comparant le volume d'eau nécessaire aux cultures d'hiver avec celui qui est nécessaire aux cultures d'été, on arrive à la conséquence suivante : Si une propriété jouit pendant toute l'année d'un volume d'eau constant de $\frac{1}{2}$ litre à la seconde et par hectare de culture d'été distribué à des intervalles périodiques, elle devra contenir 3 hectares de cultures d'hiver pour 1 hectare de culture d'été. Sans doute cette proportion n'a rien de tout à fait absolu ; mais si l'on se rappelle que toute récolte est compromise dans la province d'Oran si l'on manque d'eau pour l'arroser, on reconnaîtra qu'elle étabit une moyenne pratique de laquelle on ne peut pas beaucoup s'écarter.

Examen détaillé du système de distribution des eaux en Algérie. — Nous avons posé les bases de la distribution de l'eau ; étudions le système de plus près.

Le volume total de l'eau à distribuer est d'abord partagé entre deux ou plusieurs *canaux principaux* dans la pro-

portion des superficies desservies par ces canaux. Cette division se fait au moyen de déversoirs placés dans un bassin commun, en un mot au moyen d'un *partiteur*.

Le terrain à irriguer est divisé en *sections* d'une contenance uniforme et chaque *section* a un canal spécial de distribution appelé *canal secondaire* qui reçoit l'eau de son canal *principal* au moyen d'un *partiteur* semblable au partiteur général.

Le volume d'eau disponible étant aussi réparti entre toutes les sections proportionnellement à leur superficie irrigable, il n'y a plus qu'à distribuer l'eau dans chaque section aux différentes parcelles qui doivent l'utiliser.

L'expérience a prouvé que, pour éviter tout conflit, il faut que sur le même canal il n'y ait jamais qu'un seul irrigant à la fois; on admet donc que chaque propriétaire aura la faculté de prendre le *débit total du canal secondaire* pendant un temps proportionné à la superficie de son terrain. C'est aux intéressés à utiliser le volume qui leur est attribué de la manière qui leur paraît la plus convenable. La semaine est prise pour unité de temps; chaque fraction de section reçoit donc l'eau chaque semaine pendant un certain nombre d'heures indiqué à l'avance.

Détermination des sections. — Quant à l'étendue des sections, les considérations suivantes servent à la déterminer : puisque le débit total de chaque canal secondaire doit être successivement employé par chacun des irrigants, il faut que ce débit soit tel qu'une seul irrigant puisse facilement l'aménager ; c'est à l'expérience à l'indiquer.

Dans les premières irrigations, le débit des canaux secondaires était faible ; on n'avait pas encore l'expérience de l'irrigation. A Saint-Denis du Sig on avait établi le réseau des canaux d'irrigation de manière que chaque canal secondaire débitât 15 litres pour la zone des jardins et 25 ou 30 litres pour la cultures de la plaine; mais les cultures de Saint-Denis du Sig sont relativement très-

divisées, et il est reconnu aujourd'hui par les usagers que l'eau arrive trop lentement et par suite que le débit des canaux secondaires est trop faible.

Dans les concessions de l'Habra, on emploie 35, 40, 50, 60 litres par section; à Relizane, de 80 à 100 et même 110 litres; enfin il y a quelques années les syndicats de la province d'Oran furent consultés sur la question de savoir quel était le débit à admettre dans les canaux secondaires; leur avis fut qu'en général les débits étaient trop faibles et qu'il était bon de les augmenter en adoptant comme maximum 120 litres.

A ces faits d'expérience nous ajouterons les remarques suivantes : dans les petites exploitations, le personnel est peu nombreux, les parcelles sont petites, il n'est pas possible d'aménager un grand volume d'eau; 30 a 40 litres nous paraissent le chiffre moyen à adopter, encore ce chiffre doit-il être réduit à 20 litres pour les jardins.

Dans les grandes exploitations, au contraire, un grand débit est absolument nécessaire; le personnel est nombreux, les parcelles sont étendues; un faible débit les arroserait mal et emploierait trop de temps. Par exemple, si le canal secondaire débite 100 litres et que le volume d'eau à distribuer à chaque arrosage soit de 650 mètres cubes par hectare, l'arrosage d'un hectare durera :

6.500 secondes soit 1 heure 50 minutes. Ce laps de temps nous paraît déjà considérable.

Faisons observer encore que les causes de déperdition augmentent avec la division de l'eau; enfin, à mesure que le personnel agricole s'améliore, on éprouve le besoin de recevoir de plus grands débits et de pratiquer les irrigations plus vite. Toutes ces considérations établissent qu'on a tout intérêt à se rapprocher du maximum pratique indiqué par l'expérience; c'est en effet la tendance actuelle.

Les terrains de la compagnie de l'Habra feront nécessairement l'objet de grandes exploitations; nous avons cru

devoir adopter le chiffre de 100 litres comme représentant le débit-type des canaux secondaires. Dans les terrains du bas de la plaine où les pentes sont faibles, les grands débits sont indispensables, nous avons forcé le chiffre quand nous avons pu; au contraire, nous avons tâché de nous tenir au-dessous pour les terrains du haut de la plaine où les pentes sont quatre ou cinq fois plus fortes.

Le débit total étant connu et le débit des canaux secondaires étant établi par les considérations qui précèdent, le nombre des sections s'en déduit : si par exemple le débit total est de 2.000 litres et le débit de chaque canal secondaire de 100 litres, le nombre des sections sera de 20. Dans chaque section ou pourra arroser convenablement :

$\frac{100^{\text{lit}}}{\frac{1}{2}^{\text{lit}}}$ ou 200 hectares de culture d'été,

$\frac{100^{\text{lit}}}{\frac{1}{6}}$ ou 600 hectares de culture d'hiver.

Total. . . . 800 hectares.

Le surplus de la section ne pourra être arrosé qu'au détriment des 800 premiers hectares.

Pratique de l'irrigation. Prises d'eau.— Nous ne pouvons mieux faire, pour donner une idée exacte de la manière dont se pratique l'irrigation en Algérie, que de reproduire le plan d'une section empruntée aux irrigations de la Mina à Relizane.

Le canal principal AB arrive au partiteur n° 5 et l'eau se divise en deux parts, celles des sections 5 et 6 (*fig.* 7, Pl. 11).

Le canal secondaire de la 6e section longe la limite BCDE de la 5e section, et va porter les eaux sur la section qui lui est afférente. Le canal secondaire de la 5e section suit le même trajet BCDE et alimente quatre embranchements BG, CH, IK, FM. Le système du canal secondaire et de ses quatre embranchements touche toutes les parcelles de

la section au moins en un point, de façon que chaque usager peut y établir sa prise d'eau. Le canal principal et les canaux secondaires composent le réseau de distribution construit et entretenu par l'association; quant aux rigoles qui distribuent l'eau dans chaque parcelle, elles sont entièrement à la charge du propriétaire de la parcelle. L'appareil de prise d'eau est également à sa charge. Du moment où chaque parcelle peut prendre l'eau au canal secondaire sans passer sur des fonds intermédiaires, les obligations de l'administration ou de la communauté sont remplies et c'est à l'usager à faire le reste.

Voyons comment se pratique l'arrosage. Toutes les parcelles composant la section sont portées sur un état arrêté par le syndicat et contenant le nom du propriétaire, la contenance de la parcelle, le temps pendant lequel elle a droit chaque semaine à se servir de l'eau de la section, le jour et l'heure auxquels commenceront l'arrosage. Supposons qu'il s'agisse de la parcelle 148 de Relizane; au jour et à l'heure indiqués par l'état dressé par le syndicat, le garde ouvre la prise d'eau de l'embranchement IK; toutes les prises d'eau des embranchements BG, CH, MF sont fermées, de sorte que ces canaux ne reçoivent rien. La prise d'eau de l'embranchement IK étant ouverte, l'eau qui vient du partiteur n° 5 s'écoule dans le canal et finit par atteindre la parcelle 7 qui est la plus éloignée de l'origine de l'embranchement. Le temps nécessaire à ce parcours est déterminé par l'expérience et il n'en est pas tenu compte à la parcelle 7. Quand le moment indiqué par l'état général pour la fin de son irrigation est arrivé, le propriétaire de la parcelle 7 est tenu de fermer sa prise d'eau et au même moment commence l'irrigation de la parcelle 225, puis successivement l'irrigation des parcelles 224, 223, 149 et enfin de la parcelle 148. Lorsque la parcelle 145 placée à l'origine de l'embranchement a terminé son irrigation, le garde ferme la prise d'eau I et ouvre la prise d'eau C de

l'embranchement situé à l'amont. L'irrigation continue de la même manière, c'est-à-dire en procédant toujours de l'aval vers l'amont et en tenant compte à chaque parcelle-limite d'un embranchement, du temps nécessaire pour l'arrivée de l'eau.

Gardes des eaux. — D'après ce qui précède, on voit que l'intervention d'un garde est nécessaire pour manœuvrer les prises d'eau des embranchements appelées *vannes de bifurcation.*

En pratique, il arrive souvent que le propriétaire de la parcelle voisine de la vanne de bifurcation se charge volontairement de sa manœuvre, mais cette disposition ne saurait être obligatoire. Il faut compter sur la nécessité d'un garde qui, en outre de la manœuvre des vannes, est chargé de la police de la section et même du curage des canaux. A nos yeux ce dernier point est extrêmement important. Le garde des canaux doit être à proprement parler une sorte de chef cantonnier. Quant à l'étendue de son canton, les ingénieurs ont proposé à Relizane d'établir trois gardes pour 4.653 hectares, soit un garde pour 1.500 hectares; mais il nous semble qu'on peut augmenter cette étendue.

Résumé. Inconvénients du système algérien. Partiteurs. Transferts d'eau. — Tel est en résumé le système de distribution des eaux d'irrigation pratiqué en Algérie depuis longtemps déjà. Il a pour lui la sanction de la pratique et l'acceptation de la population. On ne saurait nier que ce système dans sa simplicité apparente a de grands avantages; mais nous devons également faire ressortir ses inconvénients; ils peuvent être rapportés à deux principaux :

1° La répartition mathématique que ce système semble assurer n'est pas atteinte.

2° L'eau étant attribuée proportionnellement à chaque usager, il peut arriver qu'elle soit inutile aux uns et en quantité insuffisante pour les autres.

Premier point. — Le défaut d'exactitude de la répartition vient de ce que les partiteurs n'opèrent pas une division exactement proportionnelle. Considérons un partiteur A desservant trois canaux, savoir : un canal principal B et deux canaux secondaires CD ayant respectivement des déversoirs de longueurs L, l, l'; l'eau qui arrive dans le partiteur (*fig.* 9. Pl. 11) avec une certaine vitesse dirigée perpendiculairement aux déversoirs B, C, passe sur ces ouvrages avec une plus grande vitesse que sur le déversoir D placé parallèlement au courant. Pour ces motifs, les canaux B, C seront favorisés.

Soit 0,60 la vitesse de l'eau en amont du partiteur, h la charge commune à tous les déversoirs, la hauteur génératrice de la vitesse pour les déversoirs B et C sera sensiblement

$$\left(h + \frac{0{,}60^2}{2g}\right) \text{ ou } (h + 0{,}018),$$

tandis que pour le déversoir D elle ne sera guère que h. Les vitesses et par suite les débits rapportés au mètre courant seront dans le rapport de

$$\sqrt{h + 0{,}018} \text{ à } \sqrt{h} \text{ ou } \sqrt{1 + \frac{0{,}018}{h}} \text{ à } 1.$$

Cela démontre que pour fausser le moins possible la répartition, il y a intérêt à augmenter la hauteur de la chute h, mais on est limité par la nécessité où l'on est de ménager les pentes.

Si par exemple $h = 0^m{,}20$, le rapport des débits devient $\sqrt{1 + \frac{0.018}{0.20}}$ ou $1^m{,}045$; l'erreur serait de 4 ou 5 p. 100; l'erreur au profit du canal principal B doit même dépasser ce chiffre, car c'est un fait d'expérience qu'un courant liquide considérable a toujours pour effet d'absorber partiellement les courants secondaires. Si le déversoir B a une

longueur sept ou huit fois plus grande que les déversoirs C, D, le débit de B dépassera probablement de 6 ou 7 p. 100 le débit des bouches C, D.

Le partiteur renferme une autre cause d'erreur. Le débit des déversoirs fonctionnant même en mince paroi n'est pas exactement proportionnel aux longueurs. L'influence de la contraction est toujours plus grande sur les petits déversoirs que sur les grands. D'après les expériences de M. Lesbros, le coefficient m applicable à la formule du déversoir $mlh\sqrt{2gh}$ a les valeurs suivantes pour les différentes hauteurs de charge d'un déversoir de $0^m,20$ de largeur :

Hauteurs de charge :	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,20
Valeurs du coefficient :	0,424	0,417	0,412	0,407	0,401	0,365	0,390

Si l'on admet que les coefficients conservent la même valeur quand la longueur du déversoir et les charges restent dans le même rapport, ce qui est assez rationnel, et si l'on suppose par exemple que le partiteur A représenté plus haut ait une hauteur de charge égale à 1 des bouches B, C, D dans le rapport de 17, 2, 1, le total donnant 20, les débits seront dans le rapport de

	B.	C.	D.
	0,422	0,395	0,390
ou	1,00	0,93	0,92

Cette seconde cause d'erreur, inhérente aux partiteurs, agit dans le sens de la première et vient encore l'augmenter.

Le système des répartitions proportionnelles successives comporte une autre cause d'erreur ; elle est relative aux déperditions qui s'opèrent depuis la prise d'eau jusqu'aux sections les plus éloignées. Les pertes ont lieu par infiltration à travers les digues ou à travers le fond du lit des canaux, par les interstices des vannes de prise d'eau et par

évaporation. Sur les canaux de l'Italie septentrionale, les pertes s'élèvent à 15 p. 100 en moyenne pour des parcours de 40 à 50 kilomètres, soit à $\frac{1}{3}$ pour 100 par kilomètre. Si à défaut d'expérience directe, on admettait ce chiffre pour l'Algérie, les pertes d'eau dans une distribution comme celle de la plaine de l'Habra s'élèveraient à 7 ou 8 p. 100 depuis les prises jusqu'à l'extrémité des canaux; mais la consistance très-limoneuse des cours d'eau d'Algérie nous permet de croire que les déperditions sont inférieures à celles des canaux d'Italie.

Ces diverses considérations montrent que la répartition des eaux est probablement assez différente d'une répartition mathématique; cependant, comme elle a toute l'apparence de l'exactitude, elle a la confiance de la population et le principe de la répartition par les longueurs proportionnelles des déversoirs est universellement admis en Algérie.

Nous n'avions aucune raison sérieuse de modifier ce système, car toute complication faite en vue d'arriver à une répartition plus rigoureuse serait la source de contestations et de difficultés.

Second inconvénient. — Le second inconvénient a plus d'importance. Du moment où l'on attribue à chaque usager une quantité d'eau proportionnelle à l'étendue de sa propriété, il arrive ceci : c'est que la division des cultures s'ensuit nécessairement. Si N est le nombre de litres continus dont dispose une propriété, 2N représente le nombre des hectares consacrés aux cultures d'été, 6N représente celui des cultures d'hiver, 8N la superficie totale des cultures arrosées.

Le propriétaire ne peut augmenter la superficie de ses cultures d'été qu'en diminuant le volume d'eau consacré à chaque hectare; s'il le diminue, il emploie l'eau inutilement ou d'une manière improductive. Cet inconvénient ne s'est pas présenté au début des irrigations. Tout le monde

s'est porté sur les cultures d'été qui sont généralement des cultures industrielles, et spécialement sur le coton ; mais il est venu un moment où les colons ont voulu modifier le système des cultures ; sur certains points, la terre a été tellement fatiguée par des cultures épuisantes que les engrais naturels qui y étaient accumulés depuis des siècles ont disparu, et qu'il faut employer aujourd'hui des engrais artificiels. Ce fait se constate notamment dans le Sig, parce que la plaine du Sig est depuis longtemps exploitée par des colons, mais il se produira partout. Au bout de 15, 20, 30 ans, on verra partout les terres les plus riches épuisées et réclamant des engrais artificiels, et alors il faudra adopter en Algérie, comme dans tous les pays depuis longtemps en culture, l'exploitation agricole française avec les bestiaux, les pâturages, les céréales, les prairies artificielles, en un mot la rotation des cultures et l'emploi des engrais. Sans doute ce système subira des modifications pour s'adapter à l'Algérie ; quoi qu'il en soit, les errements actuels se modifieront avec le temps.

Les irrigations éprouveront le contre-coup de ce changement de régime, l'eau restera toujours aussi précieuse ; mais si la faveur des cotons diminue, on verra des agriculteurs se livrer exclusivement aux cultures d'hiver (ce fait se réalise aujourd'hui) pendant que d'autres persévéreront dans la préférence pour les cultures d'été. Les premiers demanderont un surcroît d'eau pendant l'hiver et les seconds le demanderont pendant l'été. Si l'on prohibe d'une manière absolue la cession temporaire de l'eau d'irrigation comme cela a lieu dans certaines parties de l'Espagne, on contrariera cette évolution agricole qui est cependant utile à l'avenir du pays. Déjà on a senti le besoin de faire fléchir les principes, et au Sig on pratique, sous le nom de *transferts*, des échanges de tour d'arrosage pendant un certain laps de temps.

L'usager qui a cédé son tour d'arrosage à un autre usa-

ger en fait la déclaration à l'agent du syndicat qui est chargé de la surveillance des arrosages. Lorsque le transfert a lieu dans la même section et sur le même canal, il n'y a pour ainsi dire aucune difficulté ; les deux usagers puisant au même canal secondaire, la répartition générale des eaux n'est point modifiée et les gardes surveillants n'ont même pas à intervenir ; mais si le transfert a lieu d'une section à une autre, il faut modifier la répartition, et pour des sections éloignées, cela peut occasionner une véritable difficulté.

Par exemple, je suppose que dans le cas d'une distribution figurée par le croquis (*fig.* 8), un usager de la première section cède son tour d'arrosage de 12 heures à un usager de la 6e section ; il faudra faire le calcul suivant :

12 heures sont le $\frac{1}{14^e}$ de la semaine et 30 est le débit du premier canal secondaire, il faut transférer $\frac{30}{14}$ ou $2^l,14$ à la 6e section et les retirer à la 1re.

On commencera par augmenter les durées de prises d'eau de la 1re section dans le rapport inverse de 30 à 27,86.

Le partiteur n° 1 sera modifié de manière que les deux bouches soient dans le rapport de 152,14 à 27,86.

Id. pour le partiteur		n° 2, en vue d'arriver au rapport		112,14 à 40
Id.	—	n° 3,	—	62,14 à 30 à 40
Id.	—	n° 4,	—	22,14 à 40

Enfin, dans la 6e section, il faudra modifier le tableau des heures et réduire la durée de chaque prise dans le rapport inverse de 20 à 22,14, de manière que l'usager acheteur du tour d'arrosage trouve sa place dans la semaine ; la durée de son tour sera

$$\frac{2,14}{22,14} \times 7 \times 24 \text{ heures} \quad \text{ou} \quad 16^h,15.$$

Cet exemple fait voir que le transfert d'une section à une autre nécessite la révision de tous les partiteurs intermédiaires et la modification du tableau de la durée des prises d'eau dans les deux sections auxquelles appartiennent les deux usagers. Cette simple opération jette une perturbation complète dans le système ; en outre, la modification des partiteurs n'est pas chose facile lorsque, comme au Sig, les partiteurs sont des ouvrages fixes. C'est en diminuant les orifices au moyen de lames de tôle (*fig.* 10) qu'on arrive au rapport voulu, mais comme il faut une lame de tôle différente à chaque nouveau transfert, il n'est pas possible de réaliser une répartition rigoureuse et l'on en viendra probablement bientôt à établir des partiteurs mobiles.

Les transferts ne sont pas indifférents pour les usagers qui appartiennent à la section du cédant. En effet, on a vu dans l'exemple choisi plus haut que par le fait du transfert, le volume d'eau du canal, qui était de 30 litres, est réduit à $27^{\text{lit}},86$, et la durée des prises d'eau est augmentée dans le rapport de 30 à 27,86 ; si au lieu d'un cessionnaire, il y en avait deux ou un plus grand nombre, il pourrait arriver que le débit du canal secondaire de la 1re section s'abaissât à un chiffre tellement faible que les irrigations devinssent impossibles. Par contre le débit de la 6e section pourrait augmenter au point de devenir gênant et de dépasser la limite de ce qu'un irrigant peut aménager.

On voit par tout ce qui précède que la question du transfert d'eau a une importance considérable. Les transferts ont soulevé de très-vives plaintes dans le syndicat de Saint-Denis du Sig. Cependant le syndicat s'est prononcé à la presque unanimité pour le maintien des transferts sans restriction. A votre avis, ce vote tout récent pris dans l'un des syndicats les plus anciens de l'Algérie et dans l'un des centres les plus progressistes porte un coup sérieux au système de distribution algérien tel qu'il a été pratiqué jusqu'ici.

Sans doute les transferts donnent lieu à des difficultés d'administration, mais il appartient à chaque syndicat de poser des limites sans entraver la liberté des transactions. Si les canaux d'irrigation sont par nature immobiles et attachés au fonds, au contraire l'eau est mobile, de plus elle a une valeur ; elle a donc toutes les propriétés d'une valeur mobilière et il est impossible qu'on ne trafique pas de l'eau d'irrigation comme de toute autre valeur mobilière.

Résumé. Amélioration du régime des transferts. — Les détails du système de distribution des eaux pratiqué jusqu'à ce jour en Algérie nous paraissent maintenant clairement établis; nous en avons montré les avantages et les inconvénients ; nous avons fait voir que la répartition n'était pas rigoureusement exacte, mais elle est regardée comme telle par la population. Nous avons défini le transfert et nous avons établi que quelque rigueur que l'on voulût apporter dans l'application du principe « de l'eau annexée à la terre », il faudrait tôt ou tard et dans tous les systèmes d'irrigation admettre la liberté des transferts. Ces opérations ont certainement des inconvénients sérieux, mais ces inconvénients peuvent être atténués par plusieurs palliatifs :

1° On peut sans grand inconvénient réduire à deux semaines, peut-être même à un mois, le minimum de durée du transfert de manière à n'avoir à modifier que tous les quinze jours ou tous les mois le système de distribution.

2° Il deviendra indispensable d'avoir des partiteurs à bouches variables.

3° Il doit être stipulé que lorsque, par suite de transferts, le débit d'un canal secondaire dépasse une certaine limite en dessus ou en dessous, tout transfert ultérieur dans la section est interdit, à moins qu'il n'ait pour effet de faire rentrer le débit dans ses limites.

4° En adoptant de grandes sections, les inconvénients des transferts sont moins à redouter, car, d'une part, les

augmentations ou les diminutions du débit sont moins sensibles, et en second lieu la moyenne des eaux consommées a plus de chances de rester constante sur une grande superficie que sur une petite.

2° Système des irrigations de la plaine de l'Habra et de Macta.

Bases adoptées dans le système d'irrigation de la plaine de l'Habra. — On lit dans le cahier des charges de la compagnie d'Habra :

« Art. 25. — La répartition des eaux sera faite propor-
« tionnellement aux superficies, de telle manière que l'ad-
« judicataire aura droit aux $\frac{24}{36}$ de l'eau disponible.

« Art. 26. — Le droit à la jouissance de l'eau appartient
« au sol lui-même ; d'où il suit que l'adjudicataire ne pourra
« vendre une partie de ses terrains sans vendre en même
« temps le droit qui lui est attribué à la jouissance de
« l'eau... »

Ces dispositions établissent le droit de la compagnie à la jouissance de l'eau et elles imposent l'obligation de *l'annexion de l'eau à la terre.* Le mode de répartition des eaux d'irrigation y est même indiqué d'une manière évidente, et il est clair que le système de distribution algérien est le seul qui satisfasse aux termes du cahier des charges. Nous n'avions aucune objection à faire contre ces prescriptions prises dans un intérêt public, et les considérations placées en tête de ce mémoire montrent assez qu'à nos yeux le système de distribution algérien, sous la réserve de quelques améliorations, est très-satisfaisant pour le pays. Il faut seulement, tout en lui conservant sa rigueur mathématique, le tempérer par les transferts et construire par conséquent des partiteurs à bouche variable. Ces ouvrages auront à l'Habra une utilité toute particulière. Les 24.000 hectares appartenant à la société ne seront pas tous

mis en culture dès la première année. A la période de construction succédera une période d'organisation agricole pendant laquelle le périmètre arrosé changera souvent. Il est donc indispensable, par ces divers motifs, d'avoir un système de partiteurs capable de se plier facilement à cette variabilité du périmètre. C'est dans ce sens que nous avons rédigé le projet des irrigations.

Description. Répartition des terrains arrosés. — Le barrage-réservoir construit par la compagnie de l'Habra est situé sur la rivière à 10 kilomètres en amont de Perrégaux. Les 36.000 hectares de terrains concédés s'étendent dans la plaine, depuis Perrégaux jusqu'à la Macta, et se subdivisent de la manière suivante : Sur la rive droite de l'Habra, un peu au-dessous de Perrégaux, 2.900 hectares sont arrosés au moyen d'un canal d'irrigation qui part du barrage lui-même et qu'on appelle *canal de Perrégaux;* nous appelerons ces 2.900 hectares concession de Perrégaux.

Les 9.100 hectares restants sur les 12.000 appartenant autrefois à l'État sont répartis en deux groupes.

Les *concessions de l'Habra* formant un groupe d'un seul tenant de 7.200 hectares sur la rive gauche et 1.400 hectares sur la rive droite ; au total 8.600.

L'*enclave Passeron* (rive droite de l'Habra), de 431 hectares. Cette surface de terrain est complétement enclavée dans la propriété de la compagnie.

Les 12.000 hectares comprennent donc en résumé :

	hectares.
Concession de Perrégaux (rive droite de l'Habra). . . .	2.900
Enclave Passeron *idem*.	430
Concession de l'Habra.	8.600
Total.	11.930

Soit 12.000 hectares.

A 4 kilomètres environ en aval du chemin de fer, il existe sur l'Habra un barrage de dérivation appelé *barrage Saint-Maur*, destiné à dévier les eaux de la rivière pour

les diriger dans deux prises d'eau d'irrigation qui existent sur les deux rives. Le barrage Saint-Maur est construit depuis plusieurs années. La prise d'eau de la rive droite servira désormais à arroser des terrains faisant partie des 1.400 hectares des concessions de l'Habra et la partie de la propriété de la compagnie de l'Habra située sur la rive droite des endiguements de l'Habra. La prise d'eau rive gauche du barrage Saint-Maur servira à l'irrigation des 7.200 hectares composant les concessions de l'Habra (rive gauche) et la partie des terrains de la compagnie situés sur la rive gauche des endiguements de l'Habra.

Canal de Perrégaux, l'Habra canal d'amenée. — La compagnie a droit aux $\frac{24}{36}$, soit aux $\frac{2}{3}$ des eaux d'irrigation, et la répartition des eaux sur les autres terrains doit être faite proportionnellement à leur superficie. Or on estime que le volume ordinaire des eaux d'irrigation sera de 3.000 litres. D'après cela le canal de Perrégaux porterait $\frac{2.900^h}{36.000^h} \times 3.000$ litres ou 242 litres. Le reste, soit 2.758 litres, sera jeté dans le lit même de l'Habra et amené par la rivière au barrage Saint-Maur.

Dans un rapport du 13 avril 1863, M. l'inspecteur général Lebasteur émettait l'opinion que le volume d'eau transmis par l'Habra depuis Perrégaux jusqu'au barrage Saint-Maur pourrait bien éprouver dans ce trajet des déperditions dues aux infiltrations dans le lit de l'Habra qui est très-perméable. M. l'ingénieur en chef Aucour, se fondant sans doute sur la consistance limoneuse des eaux de la rivière, n'admet pas qu'il puisse y avoir de perte par infiltration ; il reconnaît seulement que l'évaporation peut enlever un certain volume d'eau plus considérable par la rivière qu'elle ne l'eût été dans un canal. Il évalue la perte au $\frac{1}{100}$ du volume total. Dans ces conditions, il lui paraît

qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte. Les observations que nous avons pu faire jusqu'ici ne nous paraissent pas avoir confirmé ces prévisions. Il est certain que l'évaporation et les infiltrations enlèveront en été un volume d'eau considérable dans le trajet du barrage-réservoir au barrage Saint-Maur. Toutefois le projet des irrigations que nous avons rédigé en 1871 l'a été d'après les bases admises par M. Aucour et par les avant-projets de l'administration antérieurs à la concession, c'est-à-dire que nous avons supposé que tout le volume d'eau disponible arriverait sans déperdition aux canaux d'arrosage en proportion de la superficie des terres à arroser.

Volume d'eau à distribuer. — Le volume moyen des eaux à dériver du barrage en été a été estimé à 3.000 litres à la seconde; voici comment ce chiffre a été établi :

Le volume des eaux retenues par le barrage est évalué au maximum à.		mèt. cubes. 30.000.000
Dont il faut déduire :		
1° Pour la tranche d'eau qui restera au-dessus des robinets de prise d'eau et qui ne pourra pas être versée dans les canaux d'irrigation.	mèt. cubes. 900.000	
2° Pour l'évaporation pendant les cinq mois d'été sur une superficie moyenne de 200 hectares.	1.600.000	
3° Pour pertes d'eau par les infiltrations à travers la digue et dans les terrains formant les parois du réservoir. . .	2.000.000	
Total.	4.500.000	4.500.000
Reste disponible.		25.500.000

Cette évaluation est présentée par M. Lebasteur dans son rapport précité ; il y aurait lieu de lui faire subir plusieurs réductions.

Il faut s'attendre, ainsi que nous l'avons déjà dit, à des dépôts considérables dans le réservoir, et l'on ne sait pas

bien quelle sera l'efficacité des évacuateurs pour opérer les dévasements, ni à quelles époques ils seront opérés. Au barrage du Sig où les évacuateurs sont, il est vrai insuffisants, le volume de vase accumulée en huit ans s'élève à 800.000 mètres cubes, soit à 100.000 mètres cubes par an, c'est la $\frac{1}{35^e}$ partie de la capacité des réservoirs. Il a été constaté que la Mina, qui passe à Relizane, contenait lors des crues jusqu'à $\frac{1}{35}$ de son volume en vase desséchée.

Nous avons estimé plus haut le volume de l'envasement annuel du réservoir de l'Habra à 250.000 mètres cubes. Si les curages ne se faisaient que tous les quatre ans, il y aurait de ce fait une diminution de la capacité du réservoir de 500.000 mètres cubes en moyenne par année. Ce chiffre doit même être augmenté, car il est absolument impossible de chasser les vases accumulées sur les parties hautes du réservoir dont la superficie est de 300 hectares ou de 3 millions de mètres carrés. Il nous paraît difficile d'évaluer à moins de 0,10 à 0,15 en moyenne l'épaisseur des vases permanentes. C'est encore un volume d'environ 500.000 mètres cubes entièrement perdu pour la réserve.

Soit au total 1 million de mètres cubes.

Enfin l'expérience a démontré qu'il n'était pas toujours possible de remplir les réservoirs du Sig et du Tlélat. Ce fait s'explique aisément par les grandes variations que présentent, en Algérie comme en France, les hauteurs de pluies tombées annuellement ; nous citerons seulement ceux qui sont relatifs aux quantités d'eau tombées à Oran pendant cinq années consécutives.

	millim.
En 1857.	907,25
En 1858.	332,00
En 1859.	388,75
En 1860.	467,25
En 1861.	285,00

La moyenne ordinaire à Oran est de $0^m,48$ (vingt-neuf années d'observations de M. Aucour); celle du bassin de l'Habra est estimée à $0^m,40$.

Si la capacité du réservoir était calculée pour qu'on pût faire en année moyenne (40 centimètres de pluie) le remplissage du réservoir, on voit que pendant 3 années sur 5 le remplissage ne pourrait pas s'effectuer.

Une autre circonstance donne encore de l'incertitude sur le volume d'eau qu'on pourra emmagasiner, c'est que les bassins de l'Habra et du Sig sont extrêmement perméables et que, par suite, ces rivières débitent un volume d'eau très-faible par rapport à la quantité de pluie qu'ils reçoivent. M. Aucour évalue le débit annuel du Sig au $\frac{1}{37}$ de la pluie tombée. Sur l'Habra, le débit de 3 mètres cubes à la seconde sur lequel on compte pendant toute l'année et qu'il n'est pas bien certain qu'on obtienne, représente un volume annuel de 100 millions de mètres cubes ; c'est le $\frac{1}{40}$ de l'eau tombée sur le bassin de l'Habra, qui a une superficie de 1 million d'hectares (hauteur d'eau annuelle $0^m,40$).

En France, le volume annuel des cours d'eau varie du $\frac{1}{4}$ à la moitié du volume de la pluie tombée, rapport bien différent de ceux que nous avons constatés plus haut. Il résulte de cette différence une bien plus grande instabilité dans le volume annuel des cours d'eau d'Algérie.

Les aperçus qui précèdent comportent beaucoup d'incertitude ; mais il était nécessaire d'examiner ces divers points de vue pour montrer que le chiffre de 25.300.000 mètres cubes, admis par l'administration des ponts et chaussées comme représentant le volume d'eau de la réserve annuelle, doit être considéré comme un maximum théorique qui ne sera probablement jamais atteint ; mais comme il vaut mieux pécher par excès dans l'établissement des canaux d'irrigation, nous avons adopté le chiffre de 25.500.000 mètres cubes. La saison d'arrosage d'été dure 5 mois ou

$$86.400 \times 150 \text{ jours} = 12.960.000 \text{ secondes.}$$

Le volume de la réserve correspond en nombre rond à un débit à la seconde de

$$\frac{25.500.000.000}{12.900.000}, \text{ soit } 2.000 \text{ litres.}$$

Ajoutant 1.000 litres pour le débit ordinaire de la rivière on a un débit total applicable aux irrigations d'été de 3.000 litres.

Détermination des sections d'irrigation. — Nous avons démontré qu'il y avait tout intérêt à forcer le débit des canaux secondaires. C'est dans cet ordre d'idées que nous avons adopté le débit de 100 litres pour débit-type des sections. D'après cela, le nombre des sections d'arrosage d'été est à peu près de $\frac{2000}{100}$ ou 20.

Dans le périmètre arrosé et notamment dans celui qui est relatif à la rive gauche, sont compris des terrains très-bas et à peu de pente avoisinant le réservoir de la Macta au-dessous de la courbe $3^m,50$. Nous nous sommes demandé si nous les comprendrions dans le réseau des irrigations, et après mûre réflexion, nous avons cru devoir en faire des sections spéciales. Ces terrains seront désormais soustraits aux submersions périodiques qui les rendaient humides, et comme ils sont d'excellente qualité, il n'y a pas de raison pour que les arrosages ne leur soient pas très-utiles. Les pentes de ces terrains ne dépassent pas $0^m,40$ par kilomètre. En général, dans ces terrains bas, les canaux secondaires doivent être rapprochés et construits en remblai; avec des prises d'eau rapprochées, l'irrigation devient très-praticable.

Quant à la division proprement dite du terrain en sections, il serait difficile de résumer toutes les considérations qui nous ont guidé dans son choix, parce qu'un pareil travail est forcément le résultat de tâtonnements multipliés.

Voici les conditions que nous avons cherché à réaliser :

1° Grouper ensemble des terrains à pentes similaires ;

2° Arriver à des systèmes de canaux secondaires à pentes maxima ;

3° Ménager la pente des canaux principaux de manière à créer quelques chutes pour l'établissement d'usines.

Nous avons dû avoir égard à une circonstance importante dont il nous faut parler ici.

L'expérience a démontré depuis plusieurs années la difficulté de plus en plus grande de faire la culture du coton avec fruit, surtout sur une grande échelle.

En effet, le coton à longue soie de la province d'Oran, qui valait 1.000 francs à l'époque de la guerre d'Amérique, ne se vend guère aujourd'hui au-dessus de 400 francs.

La société de l'Habra a dû songer a employer à des cultures plus rémunératrices ses eaux d'irrigation d'été. Après des essais prolongés et des études que nous avons faites en 1871 sur la côte méridionale d'Espagne, elle s'est résolue à pratiquer en grand la culture de la canne à sucre. Or cette plante demande plus d'eau que le coton. D'après les études auxquelles nous nous sommes livré en Espagne, nous estimons que le volume d'eau exigé par la canne à sucre équivaut au débit continu de 1 litre par hectare. C'est donc une superficie de $\frac{2.000}{1}$ ou 2.000 hectares de cannes à sucre que la société pourra entretenir chaque année. D'un autre côté, la culture de la canne à sucre nécessite le transport à l'usine chaque année d'un poids considérable de récoltes qu'on peut évaluer en moyenne à 50 tonnes par hectare. Pour 2.000 hectares, c'est un poids total de 100.000 tonnes qu'il faudra porter aux usines pendant la période de fabrication qui dure 100 jours. Cela donne 1.000 tonnes par jour.

On conçoit alors l'absolue nécessité de grouper toutes les cultures dans le périmètre le plus restreint possible.

D'un autre côté, il faut se réserver la possibilité de faire des assolements, car la canne est une plante épuisante. C'est pourquoi nous avons porté à 5.000 hectares la superficie consacrée à la canne. Les terrains seront groupés sur la rive droite de l'Habra, autour du futur centre appelé Debrousseville sur le plan général (*fig.* 6, Pl. 11).

Ils forment 21 sections d'environ 250 hectares chacune, savoir les sections de 3 à 11 et 13 à 24. Chaque section contiendra environ 100 hectares de plantation de cannes et recevra pendant l'été 100 litres d'eau d'irrigation à la seconde, ce qui, pour les 21 sections, fait à peu près les 2.000 litres dont disposera la société. Les sections 1, 2, 12, 25 de la rive droite et toutes celles de la rive gauche seront consacrées à des cultures d'hiver et sont moyennement de 1.000 hectares.

Si plus tard il devenait nécessaire de modifier le système de culture et d'augmenter la superficie des petites sections de cannes, on les grouperait deux par deux ou trois par trois.

Par suite de ces dispositions, le nombre total des sections est de 36 et le nombre de partiteurs de 24.

Sections et pentes des canaux. — Les eaux de l'Habra sont extrêmement limoneuses; elles le seront beaucoup moins en sortant du réservoir, mais elles le deviendront encore dans le trajet du barrage à la plaine; il y a tout intérêt à avoir de fortes pentes pour empêcher l'envasement des canaux. Il faut encore éviter un autre écueil : avec de trop fortes pentes, les canaux risquent d'être corrodés. Ce dernier inconvénient est beaucoup moins à redouter que le premier parceque les corrosions ont une limite qu'elles créent elles-mêmes par l'élargissement du lit des canaux; il faut cependant le prendre en considération. La section des canaux est formée d'un plafond horizontal et de deux talus à 45°. La profondeur de l'eau est égale à la largeur du plafond; cette disposition, qui donne une formule simple,

correspond à peu près au minimum de terrassements (B).

Nous nous sommes imposé comme limites extrêmes des vitesses de l'eau $0^m,55$ et 1 mètre. A $0^m,55$ les dépôts commencent probablement à se former, mais il y a des parties du réseau d'irrigation où il n'est pas possible d'atteindre une vitesse supérieure. La vitesse de 1 mètre nous paraît devoir être adoptée dans les calculs comme un maximum, d'autant plus qu'en hiver elle sera peut-être dépassée. Avec les vitesses de $0^m,80$, les terres argilo-sablonneuses qui constituent les parois des canaux dans les plaines de l'Algérie sont sensiblement corrodées. Nous avons pu constater ce fait à Relizane dans les canaux principaux de la rive droite, mais d'un autre côté, ces corrosions

---

(B) La formule de Prony, $Ri = au + bu^2$, donne en remplaçant la vitesse u par $\frac{q}{\omega}$ et R par $\frac{\omega}{\chi}$ (ω section, χ périmètre, q débit, i pente), et après réduction,

$$i\omega^3 = aq\omega\chi + bq^2\chi.$$

Différentiant, il vient

$$3i\omega^2 d\omega = aq\chi d\omega + aq\omega d\chi + bq^2 d\chi.$$

pour le minimum de terrassements $d\omega = 0$, d'où il suit

$$(aq\omega + bq^2)d\chi = 0.$$

Cette égalité ne peut avoir lieu que si $d\chi = 0$. Or si l est la largeur au plafond, h la profondeur de l'eau,

$$\omega = (l + h)h,$$
$$\chi = l\,2h\sqrt{2}.$$

Différentiant, $$d\omega = (l + h)dh + (dl + dh)dh = 0,$$
$$d\chi = dl + 2\sqrt{2}\,dh = 0.$$

Par l'élimination des différentielles, on déduit $l = 0,83h$. C'est la condition du profil à terrassement minimum. Un examen plus détaillé fait voir qu'il n'y a pas de différence de cube applicable à prendre, $l = h$ au lieu de $l = 0,83h$; les deux cubes ne diffèrent pas de beaucoup plus de $\frac{1}{1.000}$.

ne sont pas très-dangereuses tant qu'elles ne dépassent pas une certaine limite, et nous avions le désir d'éviter un grand nombre de chutes qui auraient été nécessaires pour réduire les pentes si nous avions adopté la vitesse de $0^m,80$ comme vitesse-limite maximum.

Les deux vitesses extrêmes étant ainsi déterminées, nous avons pu calculer les pentes-limites correspondant à chaque débit ainsi que les largeurs au plafond. En voici le tableau (C) :

Tableau des pentes et des largeurs au plafond.

DÉBITS du canal.	VITESSE 1,00.		VITESSE 0,55.	
	Pente maximum.	Largeur au plafond.	Pente maximum.	Largeur au plafond.
Litres.				
100	0,00537	0,22	0,00123	0,30
200	0,00380	0,31	0,00087	0,43
300	0,00310	0,38	0,00071	0,52
400	0,00269	0,45	0,00061	0,60
500	0,00240	0,50	0,00055	0,67
600	0,00219	0,55	0,00050	0,74
700	0,00204	0,60	0,00047	0,80
800	0,00190	0,64	0,00044	0,86
900	0,00179	0,68	0,00041	0,91
1.000	0,00170	0,71	0,00039	0,95
1.100	0,00162	0,74	0,00037	1,00
1.200	0,00155	0,77	0,00036	1,04
1.300	0,00150	0,80	0,00034	1,08
1.400	0,00144	0,83	0,00033	1,12
1.500	0,00140	0,86	0,00032	1,16
1.600	0,00134	0,89	0,000308	1,19
1.700	0,00130	0,92	0,000299	1,23
2.000	0,00120	1,00	0,00028	1,34

(C) Nous avons calculé les vitesses au moyen de la formule

$$v = 40 \sqrt{Ri}.$$

M. Bazin indique le coefficient 40 comme correspondant au rayon moyen $1^m,02$ pour les parois en terre. Nos canaux sont loin de présenter cette dimension; mais d'un autre côté nous savons par expérience que les eaux des canaux établis dans la plaine de l'Habra corrodent généralement leurs berges, le fond ayant au contraire une tendance à s'envaser. Pour ce motif, il ne nous paraît pas y avoir d'inconvénient à construire les canaux plus petits qu'il n'est nécessaire rigoureusement, d'autant plus que

Au moyen d'une interpolation, ce tableau nous a servi a dresser tout notre projet, et cela est d'autant plus facile que les dimensions-limites des canaux ne sont pas très-différentes. Dans les parties où les canaux sont fermés par d'anciens canaux élargis et approfondis, ce qui a lieu; 1° sur le canal principal rive droite; 2° sur le canal centre est dans la portion où il emprunte le fossé d'emprunt de la digue de l'Habra; 3° le canal principal rive gauche et le canal

---

ces canaux ne porteront pas dans les premières années leur volume d'eau définitif.

De la formule citée plus haut on tire

$$0{,}000625\, u^2 = Ri.$$

Dans le profil où $l = h$, on a

$$\omega = 2h^2, \quad \chi = 3{,}82h, \quad R = 0{,}523h.$$

D'ailleurs, $q = \omega u$, par suite

$$\frac{0{,}000625\, q^2}{\omega^2} = Ri \quad \text{ou} \quad \frac{0{,}000635}{2{,}092} \frac{q^2}{i} = h^5.$$

Si l'on veut que la vitesse soit plus petite que 1,00, on remarquera que pour $v = 1$ $Ri = 0{,}000625$; on posera donc

$$Ri < 0{,}000625$$

et l'on remplacera R par sa valeur en fonction de i, ce qui donne

$$0{,}523 \sqrt{\frac{0{,}000\,625\, i^4 q^2}{2{,}092}} < 0{,}000\,625,$$

d'où l'on déduit

$$i < \frac{0{,}000169}{\sqrt{q}}.$$

Si l'on veut que la vitesse soit plus grande que 0,55, on posera

$$Ri > 0{,}000189,$$

et par les mêmes calculs on trouvera

$$i > \frac{0{,}000\,379}{\sqrt{q}}.$$

En donnant successivement à q les valeurs $0^{mc},100$, $0^{mc},200$, etc.,

principal de l'ouest dans les portions où ils empruntent également le fossé d'emprunt de la digue de l'Habra, nous avons dû adopter des profils spéciaux, à cause de l'impossibilité de constituer une digue de retenue du côté du chemin de ronde des endiguements (D). En général les canaux secondaires ont uniformément $0^{m},30$ de largeur au plafond, et cette dimension n'est modifiée que dans les parties où la pente descend au-dessous de $0^{m},500$ par kilomètre.

---

on forme les pentes-limites contenues dans le tableau ci-dessus. Les largeurs au plafond se calculent immédiatement en remarquant que

$$\omega = 2h^2 = \frac{q}{v}, \quad \text{d'où} \quad h = \sqrt{\frac{q}{2v}}.$$

Pour $v = 1{,}00$, $h = \sqrt{\frac{q}{2}}$.

Pour $v = 0{,}55$, $h = \sqrt{\frac{q}{1{,}10}}$.

En substituant les valeurs de q, on a les largeurs au plafond limites correspondant aux pentes déjà calculées.

(D) Nous avons ici appliqué les mêmes formules de calcul :

$$v = 40\sqrt{Ri}, \qquad q = \omega v.$$

Voici le tableau des calculs :

DÉSIGNATION du canal.	PENTE par mètre.	LARGEUR au plafond.	PROFONDEUR d'eau.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE X.	RAYON MOYEN R.	VITESSE v.	DÉBIT q.
								m3
Canal principal rive droite (ancien canal rive droite).	0,0006	2,00	0,93	2,72	4,60	0,59	0,752	2,040
Canal principal centre est.	0,0007409	2,20	0,70	2,03	4,17	0,485	0,758	1,538
Fossé d'emprunt sur 550 mèt.	0,00176	1,40	0,70	1,47	3,37	0,411	1,112	1,617
Idem.	0,001004	1,80	0,70	1,75	3,77	0,463	0,862	1,508
Canal principal rive gauche.	0,00035	4,00	1,60	8,96	9,51	0,94	0,72	6,450
Fossé d'emprunt.	0,00103	1,50	0,60	1,26	3,19	0,394	0,81	1,021
Idem.	0,000819	1,60	0,60	1,32	3,29	0,401	0,724	0,960
Idem.	0,00227	1,00	0,60	1,32	3,29	0,401	0,73	0,970
Idem.	0,00121	1,40	0,60	1,20	3,09	0,389	0,87	1,044
Idem.	0,00215	1,00	0,60	0,96	2,69	0,357	1,11	1,065

Quant aux canaux principaux (*fig.* 12, 13 et 14, Pl. 11) leur section varie conformément à leur débit. Il nous a paru très-suffisamment exact de compter un débit de 100 litres par chaque section. Le débit de chaque canal principal est donc estimé dans nos calculs à 100, 200, 300, 400, 500 litres, etc., selon qu'il dessert 1, 2, 3, 4, 5 sections ou plus.

La revanche des berges est de $0^m,30$ pour les canaux secondaires. Elle s'élève à $0^m,50$ pour les canaux principaux desservant plus d'une section. Ces dimensions sont suffisantes pour faire face, d'une part au relèvement du plan d'eau qui peut se produire par suite de l'envasement des canaux ou de l'envahissement des herbes, et d'autre part aux excédants de débit qui peuvent être distribués pendant l'hiver.

Partout où cela est nécessaire, le canal est bordé par deux digues ayant leur couronnement à $0^m,40$ ou $0^m,50$ au-dessus du plan d'eau normal ainsi qu'il vient d'être dit. La largeur des digues en couronne est donnée par la formule

$$l + 0^m,30,$$

l désignant la largeur du canal au plafond. Cette formule, dont la simplicité a une grande importance alors qu'il s'agit d'un travail de canalisation aussi compliqué que celui de la plaine de l'Habra, nous paraît donner des résultats très-satisfaisants. Pour les canaux secondaires, la largeur des digues est $0^m,30 + 0^m,30 = 0^m,60$. Pour les canaux les plus grands atteignant $0^m,90$ de largeur au plafond, la largeur des digues en couronne est $0^m,90 + 0^m,30 = 1^m,20$. Seulement partout où le niveau de l'eau ne dépasse pas en hauteur le niveau du terrain naturel, les digues seront exécutées simplement avec le déblai du canal.

Les talus des canaux et les digues seront réglés uniformément à 45°. Le sol de la plaine de l'Habra consiste en sable plus ou moins argileux. En général, et pour des hau-

teurs ne dépassant pas 2 mètres ou $2^{m},50$ ces terrains se tiennent parfaitement sous des talus très-roides approchant même de la verticale; c'est ce qu'il est facile de constater dans les lits naturels de l'Habra, du Sig et du Tinn. Les herbes naturelles poussent très-rapidement dans ces riches terrains et servent à consolider les remblais; aussi des talus à 45° nous paraissent-ils offrir toutes les garanties de solidité désirables.

Canaux en déblais-banquettes. — Partout où un canal est en déblai de plus de sa profondeur normale (*fig.* 13),

$l + 0\ 50$ pour les canaux principaux,
$l + 0,40$ pour les canaux secondaires,

il n'y a plus de digues, mais on a ménagé au niveau correspondant à celui de la crête des digues et de chaque côté du canal une banquette horizontale de $0^{m},50$ de largeur. Cette banquette a un double but : pour le curage des canaux, elle sert de marchepied aux ouvriers et elle reçoit provisoirement le produit des curages avant leur retroussement sur le talus extérieur des digues; en second lieu elle empêche les éboulements des talus de déblai de tomber dans le canal.

Sur les canaux secondaires, il n'y a jamais de banquettes de déblai, mais au surplus les canaux secondaires ne sont qu'exceptionnellement en déblai.

Chemins de ronde, emprunts et dépôts. — Il est nécessaire de ménager le long de chaque canal des chemins de ronde. Nous avons fixé leur largeur, savoir :

1° A 2 mètres de chaque côté du canal pour tous les canaux principaux ;

2° A $1^{m},50$ de chaque côté pour tous les canaux secondaires. Les emprunts pour confection de digues ont lieu en dehors des chemins de ronde.

Les déblais en excès ont été employés à augmenter l'é-

paisseur des digues, sans toutefois que cela ait modifié la largeur des chemins de ronde.

Plantations. — Des plantations pourront être établies le long des canaux, l'axe de chaque arbre sera placé au pied de chaque digue à une distance suffisante pour avoir des alignements droits, malgré la largeur variable de l'emprise du canal et de ses digues.

Description du tracé des canaux principaux. Canaux de la rive droite. — La distribution est faite sur la rive droite au moyen de deux canaux (*fig.* 6, Pl. 11);

L'Est et le Centre-Est.

Le canal principal de la rive droite prend naissance au barrage de Saint-Maur. Il n'est autre que l'ancien canal convenablement élargi et approfondi. A l'endroit où l'ancien canal coupe le fossé d'emprunt de la digue rive droite de l'Habra, le canal principal se bifurque en deux canaux principaux : le canal principal de l'Est et le canal principal du Centre-Est au moyen du partiteur n° 1. Le canal principal de l'Est occupe le canal actuel de la rive droite un peu approfondi jusqu'au partiteur général actuel situé à 1.922^{m},50 du barrage Saint-Maur. A partir de ce point, le canal est ouvert à neuf en ligne droite sur l'angle sud de la propriété sur la route de Mascara à Mostaganem. On a dû par conséquent demander à l'administration les autorisations nécessaires pour la traversée des propriétés appartenant à des tiers. Cette autorisation, qui a fait l'objet de longues difficultés, n'a été accordée qu'en décembre 1873. Quant au tracé suivi pour le canal principal de la rive droite et pour le canal principal de l'Est, il se justifie de lui-même. Du barrage Saint-Maur au partiteur général actuel, les dimensions du canal existant autrefois étaient déjà considérables, puisque sa largeur au plafond était presque de 2 mètres. Il était donc naturel de l'utiliser. A partir du partiteur général situé à 1.922,50 du barrage Saint-Maur, il n'existait que des canaux secondaires sans

importance, et dont la conservation est nécessaire à la répartition des eaux d'irrigation qui seront distribuées désormais par le canal de Perrégaux.

C'est pourquoi nous avons jugé indispensable d'ouvrir un nouveau canal depuis ce partiteur jusqu'à l'origine de la propriété sur la route de Mostaganem. Quant à la largeur de l'emprise du canal principal de l'Est, dans la portion où il est ouvert à neuf en dehors de la propriété, elle a été fixée à 15 mètres. Cette largeur est nécessaire pour les chemins de ronde et les emprunts. Le canal principal de l'Est dessert les 7 sections de 1 à 7 (*fig.* 6).

Le canal principal du Centre-Est prend son origine, ainsi que nous l'avons dit, à l'intersection du fossé d'emprunt de la digue rive droite de l'Habra avec le canal principal de la rive droite à 1.185 mètres du barrage Saint-Maur. A partir de ce point, il est formé par le fossé d'emprunt de la digue elle-même, sur une longueur d'environ 2.800 mètres. Là son tracé abandonne le fossé d'emprunt et le canal est ouvert à neuf. Il se dirige obliquement sur la limite de la propriété. Il suit cette limite jusqu'à l'angle rentrant formé par son changement de direction à angle droit. A partir de ce point, le canal principal Centre-Est descend vers le nord dans la direction du pont du Tinn, en passant non loin de la ferme Passeron. Le canal principal du Centre-Est dessert dix-huit sections du n° 8 au n° 25.

Canaux de la rive gauche. — Le canal principal de la rive gauche part de la prise d'eau rive gauche du barrage Saint-Maur, occupe le canal actuel jusqu'à la rencontre dudit canal avec le fossé d'emprunt de la digue rive gauche sur une longueur de 450 mètres. Il existe là un partiteur destiné à diviser les eaux entre les concessions de l'Habra et les terres de la société sur la rive gauche (partiteur n° 17).

Depuis ce partiteur, le canal principal de la rive gauche occupe le fossé d'emprunt de la digue de l'Habra sur une

longueur de 2.450 mètres. Au point où le canal abandonne le fossé d'emprunt, est établi le partiteur n° 18. A partir de là le canal longe la limite de la propriété qu'il contourne entièrement, laissant seulement sur la gauche de son cours la section 36 de 597 hectares. Il enveloppe les sections 35, 34, 33. Arrivé à l'angle sud-ouest de la section 33, il se dirige sur le point le plus élevé de la section 32. Le tracé du canal principal de l'Ouest offrait des difficultés résultant de ce que la plaine offre dans les sections 35 et 34 la forme d'une vallée bien prononcée. Il valait mieux contourner la vallée par sa partie haute que de la traverser en ligne droite. Notre projet avait cet avantage, et de plus le canal principal de l'Ouest sert de limite à la propriété, ce qui est un autre avantage très-important.

Le canal principal du Centre-Ouest part du canal de l'Ouest à la jonction des sections 27 et 35, descend vers le nord jusqu'à la rencontre des sections 30 et 31, et se prolonge par une branche oblique vers l'est pour l'arrosage de la section 29.

La disposition générale du réseau de la rive gauche est très-rationnelle : un premier groupe de sections 26, 27, 28, 35 à pentes fortes et ne faisant pas partie de l'ancien marais de la Macta ; un deuxième groupe de sections 34, 33, 32 voisines de l'ancien marais du Sig ; un troisième groupe, les trois sections 29, 30, 31 à faibles pentes faisant partie de l'ancien marais de la Macta ; 4° 597 hectares formant la section 36 sur la rive gauche du canal.

Le canal principal de l'Ouest et les embranchements arrosent 10 sections de 16 à 35.

Profil en long des canaux principaux ; profils à terrassements minimum. — Nous avons adopté partout les plus fortes pentes possibles, sans toutefois dépasser nulle part les pentes-limites indiquées dans le tableau de la page 371. Dans les parties où la pente naturelle du terrain dépasse les pentes du canal, nous avons racheté les différences de

niveau par des chutes qui ont en général $0^m,50$ de hauteur.

Dans plusieurs parties du réseau, nous avons dû accepter des pentes inférieures au minimum que nous nous étions imposé. Autant que possible, nous avons tenu les canaux en déblais dans les parties où l'on n'y fait aucune prise; mais nous n'avons pas hésité à les mettre en remblai dans le voisinage des partiteurs et dans les parties où le rejet de cette disposition aurait conduit à des pentes tout à fait insuffisantes devant donner lieu plus tard à des envasements abondants, et par suite à des curages très-coûteux.

Les canaux en remblai ont plusieurs inconvénients dont le principal est qu'ils nécessitent un cube de terrassements bien supérieur à celui des canaux en déblai, mais ils ont pour l'irrigation des avantages qui compensent leurs inconvénients. Dans la Lombardie, la majeure partie des canaux est établie en remblai. A Relizane, en Algérie, plusieurs parties importantes du périmètre irrigué sont à peu près privées d'eau parce que les canaux sont en déblai. Il faut s'attendre, dans la plaine de l'Habra, à l'obligation de construire presque tous les canaux secondaires en remblai dans les parties de la plaine où les pentes naturelles sont faibles comme dans les sections 29, 30, 31, 32, 33.

Les dispositions à adopter dans le profil en long, obéissent à certaines lois d'économie faciles à établir.

Le profil d'un canal étant donné, il peut arriver :

1° Que le canal soit tout en remblai;

2° Que le canal soit partie en déblai, partie en remblai, le remblai dépassant le déblai;

3° Que le canal soit partie en déblai, partie en remblai, le déblai dépassant le remblai;

4° Que le canal soit tout en déblai.

Appelons x la hauteur du plafond du canal au-dessus ou au-dessous du terrain;

A le cube du remblai dans le 1[er] cas;
B le cube du remblai dans le 2[e] cas;
C le cube du déblai dans le 3[e] cas;
D le cube du déblai dans le 4[e] cas.

On peut supposer que la dépense se mesure dans chaque profil par le cube de terre à remuer, de sorte que les dépenses respectives seront A, B, C, D. Soit l la largeur au plafond du canal.

En adoptant les profils-types de canaux tels qu'ils sont définis page 369, on trouve successivement :

Remblai.

$$A = x^2 + (7l + 2{,}60)x + 4l^2 + 3{,}60l + 0{,}80\,;\ x = \text{cote de remblai.}$$

Remblai.

$$B = 2x^2 - (6l + 2{,}60)x + 4l^2 + 3{,}60l + 0{,}80\,;\ x = \text{cote de déblai.}$$

Déblai.

$$C = x^2 + lx\,;\ x = \text{cote de déblai.}$$

Déblai.

$$D = x^2 + (l + 1)x - l - 0{,}50\,;\ x = \text{cote de déblai.}$$

On reconnaît aisément que le cube des terrassements A diminue sans cesse avec x jusqu'à ce que $x = 0$; alors

$$A = B = 4l^2 + 3{,}60l + 0{,}80.\ \text{(E).}$$

Le cube B diminue lui-même à mesure que x augmente jusqu'à ce que le remblai égale le déblai, c'est-à-dire jus-

---

(E) En général, si l'on représente par des courbes le cube de terrassements à effectuer pour une valeur donnée de l, en prenant x pour abscisses (*fig.* 11, Pl. 11) et A, B, C, D pour ordonnées, on trouve quelque chose d'analogue à la courbe ci-jointe construite pour $l = 0{,}80$.

Les quatre arcs de parabole A, B, C, D forment un angle ouvert dont le point correspondant à $X = 0{,}84$ (voir plus haut) forme le point le plus bas. Il est facile de voir que le remblai croît propor-

qu'à ce que B = C. Désignons par X la cote correspondante à cette égalité, X sera la cote du profil à *terrassement minimum*, c'est-à-dire du profil le plus économique.

Il y aura tout intérêt à s'en rapprocher, et c'est par conséquent un chiffre important à connaître.

X est donnée par l'équation

$$2X^2 - (6l + 2{,}60)X + 4l^2 + 3{,}60l + 0{,}80 = X^2 + lX.$$

D'où après réductions (F), $X = 0^m{,}63l + 0^m{,}34$. En donnant à l les valeurs $0^m{,}30$, $0^m{,}40$, etc., on trouve les résultats suivants :

VALEURS DE l.	COTES DU PLAFOND pour le profil à terrassement minimum.	CUBES correspondants.
		m3
0,30	0,53	0,440
0,40	0,59	0,584
0,50	0,65	0,474
0,60	0,72	0,950
0,70	0,78	1,154
0,80	0,84	1,378
0,90	0,91	1,647

On atteindrait au minimum de dépenses en établissant partout le plafond du canal aux profondeurs indiquées par

---

tionnellement bien plus vite que le déblai. Les limites d'application des formules sont : 0, 0,84 et 1,30, profondeur du canal sous la crête des digues.

(F) Après réduction l'équation devient

$$X^2 - (7l + 2{,}60)X + 4l^2 + 3{,}60l + 0{,}80 = 0,$$

d'où

$$X = 3{,}50l + 1{,}30 \pm \sqrt{(3{,}50l + 1{,}30)^2 - 4l^2 - 3{,}60l - 0{,}80}.$$

Le radical $8{,}25l^2 + 5{,}50l + 0{,}89$

est à peu près le carré exact de $2{,}87l + 0{,}958$.

En effet, ce carré serait $8{,}25l^2 + 5{,}50l + 0{,}92$.

Par conséquent, $X = (3{,}50l + 1{,}30) - (2{,}87l + 096)$

ou $X = 0{,}63l + 0{,}34.$

le tableau précédent ; mais les irrégularités du terrain et la considération des pentes-limites qu'on ne peut dépasser font que l'application rigoureuse de cette règle est impossible ; nous avons seulement cherché à nous en rapprocher le plus possible.

Chutes. — Nous avons également calculé à quelle profondeur il faut établir les chutes pour avoir le minimum de terrassements. Soit MN le profil du terrain, PQ une chute ayant h de hauteur.

Pour l'économie des terrassements, il faut que le remblai en P égale le déblai en Q ; par conséquent, en désignant par x la cote sur l'axe en P, celle de Q sera $(x+h)$ et l'équation à résoudre sera

$$B_x = C_{(x+h)}$$

ou $2x^2 - (6l + 2{,}60)x + 4l^2 + 3{,}60l + 0{,}80 = (x + h]^2 + l(x + h).$

Si, par exemple, $h = 0^m{,}50$ on trouve après réduction, $x = 0^m{,}63l + 0^m{,}15$, c'est-à-dire que x est donné par les valeurs de X diminuées de $0^m{,}19$; on peut donc former le tableau suivant :

VALEURS DE l.	COTES DU PLAFOND auxquelles il convient d'établir des chutes de 0,50.
0,30	0,34
0,40	0,40
0,50	0,46
0,60	0,53
0,70	0,59
0,80	0,65
0,90	0,72

Usines. — Nous avons profité de quelques pentes exceptionnelles pour projeter des chutes de 2 mètres permettant l'établissement d'usines. A quel point doit-on les établir ? Si nous supposons qu'aux abords de l'usine le canal amont doit être entièrement en remblai, les deux formules à éga-

ler seront les formules A et D; l'équation à résoudre sera

$$x^2 + (7l + 2,60)x + 4l^2 + 3,60l + 0,80 = (2 - x)^2 + \\ + (l + 1)(2 - x) - l - 0,50,$$

d'où l'on tire après réductions

$$x = \frac{4,70 - 4l^2 - 2,60l}{8l + 7,60}.$$

En faisant $l = 0^m,75$, on trouve $x = 0^m,04$ qui justifie l'hypothèse.

Ainsi, pour le minimum de dépenses, chaque usine sera placée de manière que son bief amont soit en remblai de quelques centimètres. Trois chutes ont été établies.

Profils des canaux à l'amont des partiteurs. — Chaque partiteur alimente un ou plusieurs canaux secondaires, et pour qu'un canal secondaire puisse arroser les terrains environnants, il faut que le niveau de l'eau y atteigne au moins celui de ces terrains. Cette condition détermine la cote de l'eau à l'amont du partiteur; elle est égale à celle du terrain environnant augmentée de $0^m,30$, $0^m,40$, $0^m,50$ ou $0^m,60$ représentant la chute du partiteur. La cote du plafond du canal s'en déduit.

Résumé sur les principes du tracé du profil en long des canaux. — Les considérations qui précèdent suffisent pour déterminer dans chaque cas particulier le profil en long à adopter, et elles laissent très-peu d'indétermination dans la question. En résumé, la marche à suivre est la suivante :

1° Fixation de la cote du plafond du canal à l'amont d'un partiteur.

2° Les pentes successives seront les plus grandes possibles, sans toutefois dépasser les limites imposées par la considération de la vitesse (page 371);

3° La cote du plafond en chaque point se rapprochera autant que possible de la cote X qui donne le minimum de terrassements (page 381);

4° Des chutes de $0^m,50$ au maximum rahèteront les excédants de pentes et seront établies aux points où la profondeur du canal est celle qui donne le minimum de terrassements (page 382);

5° Les usines seront également établies aux points qui correspondront au minimum de terrassements;

6° La cote de l'eau à l'aval d'un partiteur sera de $0^m,30$ au moins en contre-bas de celle de l'eau à l'amont du même partiteur, cette différence étant nécessaire au fonctionnement du partiteur.

Partiteurs. — Les partiteurs algériens consistent, ainsi que nous l'avons dit, en un sas rectangulaire muni de deux ou plusieurs parties d'où l'eau s'échappe en déversoir. La largeur libre de chaque pertuis est exactement proportionnelle à la superficie des terrains qu'il dessert. A Religane, on a appliqué sur la rive gauche un autre genre de partiteur dont le plan (*fig.* 18) donne une idée. Cet ouvrage, dont les dispositions sont empruntées à l'Italie, se compose de deux ou plusieurs murs A, B qui divisent le courant en trois ou quatre ou cinq courants secondaires dont les débits doivent être dans un rapport donné. Les pentes des canaux *a*, *b*, *c* sont calculées de façon que la vitesse de l'eau soit la même dans les trois canaux; dès lors le débit est proportionnel à la section. L'avantage de ce partiteur est d'éviter les envasements qui se produisent dans les partiteurs à déversoir, mais à nos yeux, ses inconvénients dépassent de beaucoup ses avantages. 1° Il est très-coûteux; 2° Si des envasements viennent à s'y produire, la répartition est faussée. 3° La répartition faite pour un niveau est inexacte quand le niveau vient à varier. 4° La correction de la répartition y est à peu près impossible. Nous avons dû cependant adopter une disposition analogue pour les partiteurs n° 23 et 24 faute de pentes pour créer des chutes, mais en général nous n'hésitons pas à donner la préférence au partiteur à déversoir qui

opère une division sinon, mathématique, du moins d'une exactitude bien supérieure; mais nous avons tâché d'arriver à un type économique et dans lequel on pût faire varier la répartition. Ainsi que nous l'avons établi, cette condition nous paraissait de la première importance, surtout dans le projet qui nous occupe.

Tous les partiteurs seront construits en briques de formes anglaises 25c/12c/5c. Le projet a été fait en vue de ce type. Le partiteur n° 1 dont nous donnons le dessin (*fig.* 15, 16 et 17, Pl. 11) se compose d'un sas de 0m,03 raccordé avec le profil du canal par un sas évasé de 2m,50 de longueur. Les bajoyers en brique qui forment les parois du sas ont une épaisseur de 0m,375 et sont soutenus par de petits contre-forts espacés de mètre en mètre ayant 0,25/0.375 de section. Les parements supérieurs des bajoyers sont formés par des briques posées de champ et il n'y a de pierres de taille que dans les angles où leur emploi était indispensable.

Le partiteur n° 1 a pour objet de desservir les canaux principaux de l'Est et du Centre-Est qui auront en été, quand toute l'eau d'irrigation sera envoyée aux cannes à sucre, des débits respectifs de 500 et de 1.500 litres. Une bouche de 0m,30 dessert les 1.400 hectares des concessions de l'Habra, rive droite.

Les ouvertures des pertuis sont de	1m,50	Est.
— — —	4m,50	Centre-Est.
Total. . . .	6m,00	

En vue de se conformer à une certaine variabilité des débits, nous avons appliqué aux deux pertuis un système de fermeture mobile dont nous allons donner la description.

Une plaque de fonte à nervure ferme chaque pertuis. Le plan de la face aval de ces vannes en tôle coïncide exactement avec le parement des bajoyers en briques, de

sorte que l'étanchéité latérale du système est complète. Les vannes peuvent s'arrêter dans une position quelconque de leur course. A cet effet la traverse horizontale supérieure porte des encoches le long de son arête inférieure à la façon d'une crémaillère. Ces encoches, découpées avec la machine à mortaiser sont espacées, d'axe en axe de 25 millimètres et ont 10 millimètres de largeur, les deux pattes de suspension de la vanne forment embrasse autour de la traverse et l'une de ces pattes porte trois trous rectangulaires ayant 30 millimètres de hauteur, 10 millimètres de largeur et espacés d'axe en axe de 20 millimètres. Lorsque l'un des trous de la patte coïncide avec l'une des encoches de la traverse, il suffit de passer une goupille au travers des trous et de la cadenasser pour fixer la vanne et mettre sa manœuvre à l'abri de l'inattention ou de la malveillance. Lorsque la coïncidence des trois trous n'est pas exacte, un léger déplacement donné à la vanne amène la coïncidence de l'un des trois trous avec une encoche de la traverse. Grâce à la différence d'espacement du trou et des encoches, il est facile de voir que l'erreur commise ne dépasse jamais $2^{mm},5$ parce que le système fonctionne à la manière d'un vernier. Cette erreur pour des orifices généralement supérieurs à $0^{m},30$ n'atteint pas $\frac{1}{120}$. Elle est donc insignifiante.

Le système des partiteurs à répartition variable nous paraît ainsi convenablement résolu sans complication notable. Tous les partiteurs du projet sont établis d'après le même type et les mêmes dispositions de détails; il nous paraît donc inutile d'insister sur leur description.

Le partiteur n° 17 se compose d'un pertuis de $1^{m},76$ de largeur desservant les concessions de l'Habra (rive gauche) et qui sera constamment libre et d'un pertuis de 5 mètres desservant le canal principal de l'Ouest muni de fermetures mobiles.

La somme des ouvertures des pertuis desservant les canaux de la compagnie sur les partiteurs n° 1 et 17 sera toujours de 6 mètres, les lames d'eau ayant même épaisseur de chaque côté. Le réglage de ces lames d'eau se fera au moyen des vannes de prise des écluses accolées au barrage Saint-Maur.

Vannes de bifurcation ou de prises d'eau. — Les vannes de bifurcation sont établies sur les canaux secondaires, soit à l'origine des embranchements de ces canaux, soit à l'origine des prises d'eau particulières. Nous en avons arrêté un type uniforme. Nous aurions désiré présenter un type de prise d'eau entièrement métallique, mais après plusieurs essais, nous avons dû y renoncer. La dépense en eût été plus élevée que celle du type en briques que nous avons adopté, et il n'eût pas offert les mêmes garanties de durée.

Chutes. Ponceaux. — Enfin le projet comportait trois types de chutes établies pour les usines et pour les canaux à trop forte pente et quatre types de ponceaux pour la traversée des chemins.

Exécution des travaux. — Les travaux, commencés à la fin de 1871, ont été terminés en décembre 1873. Ils n'ont pas présenté les mêmes difficultés que l'exécution des endiguements par ce motif que la plaine de l'Habra était déjà sensiblement assainie et déjà occupée en plusieurs points par des chantiers d'ouvriers. En même temps qu'on exécutait les canaux principaux, on ouvrait un certain nombre de canaux secondaires. Les canaux principaux, une fois achevés, comprendront les longueurs suivantes :

	mètres.
Canal de l'Est et embranchements.	18.800
Canal du Centre-Est.	14.550
Embranchements du Centre-Est.	15.100
Canal de l'Ouest.	23.600
Canal du Centre-Ouest.	4.050
Longueur totale.	76.100

Le cube peut être évalué moyennement à 3 mètres cubes par mètre courant de canal principal. Les canaux secondaires exécutés ont une longueur d'environ 25.000 mètres.

Les partiteurs ont été construits avec des briques faites sur les lieux mêmes aux abords de la forêt de l'Habra, qui s'étend autour du barrage Saint-Maur sur une superficie de plus de 1.500 hectares. Ces ouvrages, au nombre de 24, éparpillés sur une vaste superficie, présentaient certaines difficultés pour la bonne exécution des travaux.

Réseau des canaux secondaires. — Les canaux secondaires de distribution, dont le plan général (*fig.* 6. Pl. 11) indique le réseau, sont espacés de 400 mètres l'un de l'autre. La longueur à établir sur la propriété sera par conséquent de 25 mètres par hectare, ce qui correspond à une longueur totale de 400.000 mètres. Ce réseau sera établi au fur et à mesure des besoins. A l'origine de chaque parcelle il faudra établir un appareil de prise d'eau ou vanne de bifurcation; à raison d'une prise pour 10 hectares, il y aura 1.800 vannes. Le prix moyen de ces appareils est de 70 francs. Par conséquent on peut évaluer de la manière suivante la dépense à faire pour le réseau secondaire :

	francs.
400.000 mètres de canaux à $0^f,35$.	140.000
1.800 prises d'eau à 70 francs.	126.000
Total.	266.000

pour 18.000 hectares arrosés, soit par hectare 15 francs.

Le projet des irrigations de la plaine de l'Habra a été dressé par nous et exécuté sous notre direction et sous la surveillance de M. Barrellier au moyen de deux entreprises distinctes, l'une pour les terrassements, l'autre pour les ouvrages d'art.

Dernières conclusions. — L'exposé des travaux exécutés dans la plaine de l'Habra est maintenant terminé. Qu'on

nous permettre une dernière réflexion. Le lecteur aura pu apprécier combien la mise en valeur d'une terre cultivable est un problème compliqué et quelle somme de travail et de capitaux accumulés représente le sol d'un grand pays. Certains économistes ont prétendu que la *rente* du sol était la valeur représentative d'une sorte de qualité particulière propre à la terre et qui en ferait partie intégrante. Si la raison ne suffisait pas à démontrer la fausseté d'une pareille assertion, l'expérience des pays nouveaux comme l'Algérie ne pourrait laisser aucun doute à ce sujet. La valeur du sol vierge est pour ainsi dire nulle et l'on peut dire que quand cette valeur existe, c'est que le sol présente l'avantage d'être voisin d'autres sols déjà mis en valeur. Il est certain qu'un hectare de terres vierges pris dans le centre de l'Afrique n'a pour un Européen aucune valeur. Dans les plaines de l'Algérie, dans celle de l'Habra même, la terre nue vaut 5, 10, 15 et 20 francs l'hectare. Une fois mise en valeur, son prix centuple. Les terrains analogues à ceux de la plaine de l'Habra représentent déjà une très-grande valeur, et cependant l'œuvre de la colonisation n'y est pas complète. Sur ces vastes superficies, il reste à établir des routes, des villages, des plantations, à faire les défrichements. Il reste surtout à fixer une nombreuse population. C'est la densité de la population qui donne à la terre sa vraie valeur, par la raison qu'une chose est d'autant plus chère qu'elle est plus demandée. La *compagnie franco-algérienne* qui a entrepris cette tâche a donc encore de graves problèmes à résoudre. Nous pensons qu'elle les résoudra heureusement et que dans quelques années la plaine de l'Habra sera l'égale des huertas de Valence et de Murcie, c'est-à-dire l'une des plus belles plaines du monde.

Paris, 1874.

N° 15

DEUX NOTES

RELATIVES

A L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER ANGLAIS

PAR

M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

PREMIÈRE NOTE.

Des correspondances établies par chemins de fer entre les différents quartiers de Londres et le reste de l'Angleterre.

I.

Nous nous proposons de donner, dans cette première note, des explications qui nous ont été demandées sur la dissémination des gares de voyageurs dans Londres et sur les correspondances qui permettent d'arriver du dehors, sans quitter les rails, dans les différents quartiers de cette vaste et populeuse agglomération (*).

Un coup d'œil jeté sur la carte fait suffisamment comprendre que les lignes *de ceinture* sont assez nombreuses et assez rapprochées pour conduire d'un quartier quelconque à toutes les lignes *de rayon*. Aux renseignements déjà donnés ailleurs, nous pouvons ajouter que la compagnie du *Great Eastern* vient de se relier avec le *Metro-*

(*) Voir la carte publiée dans les *Annales*, 1874, Pl. 2. On y placera aisément quelques noms nouveaux que nous allons être conduit à citer.

politan par une jonction souterraine, établie entre les stations de *Broad Street* et de *Moorgate Street.* Ajoutons encore qu'on travaille très-activement au prolongement de l'*East London* vers le nord, entre le tunnel de la Tamise et la ligne principale du *Great Eastern*, sur 2 ½ kilomètres de longueur. Le moment approche où l'on pourra, presque sans rebroussement, et sauf à monter ou descendre d'un étage aux points de croisement de quelques lignes, visiter successivement toutes les stations.

La correspondance est donc matériellement assurée : il ne peut y avoir que des difficultés d'organisation et d'entente entre les diverses compagnies.

Or le problème a été résolu par deux sortes de mesures : les *running powers* et les *working agreements.* Un *running power*, c'est un droit, que certaines compagnies ont obtenu du Parlement, de faire circuler des trains en transit sur certaines portions de lignes étrangères, — droit resté souvent à l'état de lettre morte quand c'était une petite compagnie qui devait l'exercer sur les lignes d'une grande, mais devenu plus sérieux depuis le 1er septembre 1873, depuis qu'il est placé sous le contrôle et la protection de la *Commission des chemins de fer* (*). Les *working agreements* sont des conventions d'exploitation, conclues à l'amiable, avec ou sans indemnité, souvent pour une durée indéfinie, et parfois sanctionnées par le Parlement. Les neuf grands réseaux qui aboutissent à Londres sont ainsi liés avec une ou plusieurs des lignes *intérieures*, de façon à pénétrer partout où ils ont intérêt à le faire. Il va sans dire qu'on ne s'est pas proposé, d'après une formule théorique et abstraite, de faire correspondre une station quelconque du

---

(*) Un litige se rattachant à l'exercice de ce droit divisait deux compagnies du pays de Galles et était pendant, depuis 1867, devant un arbitre, quand il fut déféré à la Commission des chemins de fer en vertu de la loi du 21 juillet 1873. Plaidé le 28 juillet 1874 et les jours suivants, il était dès le 25 août vidé.

dedans avec une station quelconque du dehors: cela eût été, dans une foule de cas, sans utilité pratique. Mais toutes les correspondances réellement utiles ont été établies, c'est-à-dire que, là où le besoin s'en est révélé, les stations intérieures délivrent des billets dont on usera, avec ou sans transbordement, suivant les arrangements conclus entre les compagnies, et notamment suivant les heures du jour et les trains qu'on prend. On retrouve ici l'usage anglais de ne pas traiter sur le même pied des stations très-inégales d'importance, de ne s'arrêter qu'une ou deux fois par jour à celles pour lesquelles cela peut raisonnablement suffire, et de procurer ainsi, tour à tour, le bénéfice des parcours semi-directs, c'est-à-dire de la grande ou moyenne vitesse, à un bien plus grand nombre de localités. Cette complication du *tableau de la marche des trains* ne déplaît pas aux Anglais: les habitués de chaque ligne en possèdent le secret, et cela suffit.

II.

Parmi les chemins de fer intérieurs de Londres, il y en a trois qui jouent le rôle principal dans la correspondance établie entre les grandes lignes de rayon ; ce sont: le *Metropolitan*, dont l'artère principale s'étend au nord et à l'ouest, de *Moorgate Street* à *South Kensington*, sur 11 ½ kilomètres de longueur ; — le *Metropolitan District*, qui continue le circuit sur une longueur de 6 ½ kilomètres, jusqu'à *Mansion House* (à un kilomètre et demi de *Broad Street*) ; — enfin le *North London*, qui enveloppe Londres au nord-est, depuis la ligne du *North Western* jusqu'à la Tamise près de *Blackwall* (sur 14 kilomètres), et qui pénètre, par l'embranchement de *Dalston* à *Broad Street* (3 ½ kilomètres), jusqu'au cœur de la Cité. Nous allons ajouter quelques détails sur chacune de ces trois lignes.

1° *Metropolitan.* — Il y a réciprocité de *working agree-*

ments, sur des portions de lignes, entre le *Metropolitan* et le *Great Western.* Le Great Western est d'ailleurs la seule compagnie qui circule sur le Metropolitan en vertu d'un arrangement amiable.

Les trois compagnies du *Midland*, du *Great Northern* et du *London Chatham and Dover* ont des *running powers* sur le Metropolitan.

Le résultat de ce concert, établi à deux titres différents entre le Metropolitan et les quatre lignes de rayon, peut s'indiquer sommairement par quelques chiffres. Le *terminus* du Metropolitan à *Moorgate Street*, les trois stations qui se succèdent ensuite, et douze autres que nous réunissons en deux groupes, délivrent respectivement des billets pour des stations *extérieures* dont le nombre est inscrit dans le tableau suivant :

	GREAT WESTERN.	MIDLAND.	GREAT NORTHERN.	LONDON CHATHAM and DOVER.
Moorgate Street. . . .	89	276	214	70
Aldersgate Street. . .	87	76	87	70
Farringdon Street. . .	85	81	87	70
King's Cross.	»	196	»	70
Sept autres stations.	»	18	26	»
Cinq autres stations.	85	»	»	24

Ainsi, de Farringdon Street, par exemple, on peut prendre son billet indifféremment pour Bristol, Lancaster, Peterborough ou Douvres.

2° *Metropolitan District.* — Il y a réciprocité de *running powers*, sur des portions de lignes, entre le Metropolitan et le *Metropolitan District.* Cependant celui-ci conteste que personne ait de ces pouvoirs sur lui, entendant par là que ceux qu'exercent, avec la sanction du Parlement, le Metropolitan et le *London and North Western*, ont été librement accordés par lui, à perpétuité et moyennant indemnité. —

Nous indiquerons plus loin le résultat de l'entente du *Metropolitan District* avec la grande compagnie du Nord-Ouest.

3° *North London.* — Le *Great Eastern* et le *Great Northern* ont des *running powers* sur le North London, le premier pour les voyageurs et les marchandises, le second pour les marchandises seulement.

Le *London and North Western* et le *Great Western* ont des *working agreements* avec le North London, le premier pour les voyageurs et les marchandises, le second pour les marchandises seulement. (Le *London and North Western* pourrait d'ailleurs se passer ici d'arrangements spéciaux : le North London n'a rien à lui refuser.)

A son tour, le North London a des *running powers* sur des portions du *Great Eastern*, du *London and North Western* et du *London and South Western*.

Cette région, déjà un peu excentrique, du nord-est, — n'eût-elle que les 16 stations du North London, — serait surabondamment desservie. Veut-on s'éloigner dans la direction de l'est? 10 de ces stations délivrent des billets directs pour 18 stations du *Great Eastern*; 4 autres en délivrent pour des stations du même réseau dont le nombre varie de 1 à 7. — Veut-on aller dans le nord-ouest de l'Angleterre, en Écosse et jusqu'en Irlande? 13 stations du North London délivrent des billets pour des stations du *London and North Western* (ou de ses correspondants) dont le nombre varie de 37 à 49. — Veut-on aller dans le sud-ouest? 3 stations du North London délivrent des billets pour 18 stations du *London and South Western*; les 13 autres en délivrent pour 11 stations du même réseau. — Veut-on enfin aller au sud-est, vers la France? 3 stations du North London délivrent des billets pour 11 stations du *London Brighton and South Coast*; 11 autres stations délivrent des billets pour 9 stations du même réseau; les deux dernières

permettent tout au moins de gagner la tête de ligne, à *Victoria* (Pimlico, Westminster).

III.

Nous n'avons aucune envie de prendre tous les quartiers les uns après les autres et d'épuiser une énumération qui deviendrait fastidieuse ; nous préférons nous borner à des exemples caractéristiques. Pour achever de montrer comment procèdent les neuf grandes compagnies, comment elles se servent des lignes intérieures, nous entrerons dans quelques détails sur la plus importante d'entre elles, celle du *London and North Western.*

Durant l'année expirée au 30 juin 1874, elle a délivré 2.084.909 billets dans Londres seulement, aux stations qu'elle exploite seule ou en participation avec d'autres compagnies; et l'on peut évaluer à un nombre égal les billets qu'elle a délivrés, sur différents points de son réseau, à destination des mêmes stations. Du reste, le service spécial de banlieue, c'est-à-dire celui des voyageurs qui ne viennent à Londres que pour leurs affaires et ont leur résidence au dehors, n'a pas, à beaucoup près, pour le *London and North Western*, l'importance qu'il présente pour les quatre compagnies du sud de la Tamise.

Cette grande ligne du nord-ouest, qui vient de Liverpool et de Birmingham, atteint les abords de Londres à *Willesden Junction.* Elle se prolonge vers l'est par la station de *Kilburn*, puis celle de *Chalk Farm*, où elle s'infléchit pour aboutir au *terminus* d'*Euston* ($8\frac{1}{2}$ kil. de Willesden Junction à Euston). D'ailleurs, en vertu d'arrangements divers, elle utilise, savoir :

1° Tout le *North London*, non-seulement de Chalk Farm à *Dalston*, *Bow Street* et Blackwall, mais aussi de Dalston à *Broad Street;*

2° Tout le *West London*, de Willesden Junction à Ken-

sington, et le ***West London Extension***, de Kensington à *Clapham Junction* (11 kil. de Willesden à Clapham);

3° Le *London Brighton and South Coast* (sur $4\frac{1}{2}$ kil.), de Clapham Junction à *Victoria* (Westminster);

4° Tout le ***Metropolitan District***, depuis ***Earl's Court*** (au centre de l'X qui raccorde le West London avec le Metropolitan et le Metropolitan District) jusqu'à ***Mansion House.***

Le London and North Western a ainsi quatre gares principales, quatre *terminus*, savoir : ***Euston***, près de ***Regent's Park***, au nord de la région centrale; — ***Broad Street***, au cœur de la Cité; — *Victoria*, dans le quartier de Westminster; — enfin ***Kensington*** (***Addison Road***, sur le West London, à l'ouest de la station du Metropolitan qui porte le nom de ***Kensington High Street***). Le tableau suivant fait connaître le nombre des stations pour lesquelles, à chacune de ces quatre grandes gares, on délivre des billets directs :

	EUSTON.	BROAD STREET.	VICTORIA.	KENSINGTON.
Stations appartenant exclusivement au London and North Western ou exploitées en commun.	643	636	626	632
Stations appartenant à des compagnies étrangères.	788	702	527	524
Totaux.	1.431	1.338	1.153	1.156

Ces quatre gares, ainsi que celle de ***Willesden Junction***, délivrent des billets pour *toutes* les stations du London and North Western et des lignes étrangères qui ont des arrangements avec lui, à quelques exceptions près.

Nous avons indiqué plus haut comment la région nord-est de Londres est reliée, par les seize stations du ***North London***, avec *le secteur* nord-ouest de l'Angleterre. A l'autre extrémité, toutes les stations du ***West London*** et du ***West London Extension***, jusqu'à Clapham Junction inclusivement, et toutes les stations du *Metropolitan District*, depuis

Earl's Court jusqu'à *Mansion House*, délivrent des billets pour les stations *principales* du London and North Western et de ses correspondants.

Ce n'est pas tout encore. La même compagnie délivre des billets, au nord de la ville, pour les lignes du sud.

Ainsi, les quatre stations d'Euston, de Chalk Farm, de Kilburn et de Willesden Junction, échelonnées (comme nous l'avons indiqué déjà) sur la grande ligne qui part d'*Euston Square*, délivrent des billets pour les *principales* stations du *London and South Western* et du *London Brighton and South Coast*, c'est-à-dire pour le sud-ouest et le sud de l'Angleterre.

Ainsi encore, la station de Willesden Junction délivre des billets : 1° pour les principales stations du *London Chatham and Dover*, viâ Victoria (sans quitter les rails); 2° pour celles du *London and South Eastern*, viâ Euston et *Charing Cross*, les voyageurs ayant, dans ce cas, une voiture à prendre à leurs frais pour se rendre d'Euston Square à Charing Cross.

Nous n'entrerons pas dans d'autres développements. Il est probablement inutile de rappeler que des trains nombreux, qui se suivent à quelques minutes d'intervalle, relient en tous sens les différents quartiers de Londres. On peut juger dès lors si les correspondances avec l'extérieur sont convenablement assurées : résultat d'autant plus remarquable qu'il est dû surtout à une entente amiable des compagnies de chemin de fer et à une libre appréciation de leurs intérêts respectifs.

DEUXIÈME NOTE.

A propos d'une communication faite par M. G. Findlay à la Société des ingénieurs civils de Londres.

Le 23 février 1875, M. George Findlay, Chef de l'Exploitation (*Chief Traffic Manager*) du *London and North Western Railway*, lisait devant la Société des ingénieurs civils de Londres un mémoire sur l'exploitation des chemins de fer. Ce mémoire, dont nous trouvons des comptes rendus variés dans plusieurs journaux anglais, contient beaucoup de faits déjà connus des lecteurs des *Annales* (*). Les autres faits ont tout au moins le mérite de préciser, sur quelques points, le mode de fonctionnement du plus important réseau de l'Angleterre; c'est ce qui nous engage à les signaler ici.

Importance du réseau. — Quelques chiffres (que nous empruntons aux rapports semestriels du Conseil d'administration) suffiront pour rappeler d'abord l'importance actuelle du réseau du Nord-Ouest :

		TRANSPORTS effectués. — Nombre de		PARCOURS kilométrique des trains.		RECETTES.		
		voyageurs.	tonnes de marchandises.	Voyageurs.	Marchandises.	Voyageurs.	Marchandises.	Ensembl
				kilom.	kilom.	francs.	francs.	francs.
1873.	1er semestre.	19.290.085	11.689.640	10.985 963	12.205.288	40.602.325	60.365.375	100.967.7
	2e semestre.	22.131 960	12.617 444	11.863.969	13.142.779	48.929 775	65.370.975	114.300.7
	Ensemble. .	41.422.045	24.307.084	22.849.932	25.348.067	89.532.100	125.736.350	215.268.4
1874.	1er semestre.	20.379 817	11.675.450	11.272 939	12.613.947	42.086.225	62.819.050	104.905.2
	2e semestre.	23.123.536	12.342.188	11.866 729	13.085 425	49.718.975	66.418.500	116.137.4
	Ensemble. .	43.503.353	24.017.638	23.139.668	25.699.372	91.805.200	129.237.550	221.042.7

(*) La compagnie du *London and North Western* est une de celles qui ont fourni avec le plus d'obligeance, en 1873, les renseignements sur lesquels fut basé le *Rapport de mission* publié dans le Cahier de janvier 1874.

Ainsi l'on peut dire, en nombres ronds, que ce réseau transporte annuellement plus de 40 millions de voyageurs (non compris les abonnés) et un nombre de tonnes de marchandises à peu près moitié moindre. Le nombre des kilomètres parcourus par les trains de chaque catégorie est de 20 à 25 millions (*). La recette totale est supérieure à 200 millions de francs, celle des marchandises excédant celle des voyageurs d'un tiers environ.

Ajoutons qu'au 30 juin 1874, la compagnie exploitait à divers titres 3.155 kilomètres. Elle possédait 39.581 wagons, 2.722 voitures et 1.935 machines. Son personnel permanent se composait de 41.570 hommes (y compris 30 administrateurs); 16.000 hommes environ étaient attachés à la manutention des marchandises (*actual working of traffic*).

Six sortes de trains. — On distingue six sortes de trains, dont la vitesse ordinaire varie considérablement de l'une à l'autre :

1° Les trains de voyageurs express et les trains-postes, qui marchent à une vitesse de 64 kilomètres ou plus à l'heure;

2° D'autres trains de voyageurs, dont la vitesse est comprise entre 55 et 61 kilomètres;

3° Les trains omnibus et ceux dits du Parlement, qui s'arrêtent à toutes les stations et font de 31 à 45 kilomètres à l'heure (**);

(*) En Amérique, les principaux réseaux transportent, en moyenne, autant de tonnes de marchandises que de voyageurs; mais la distance parcourue est trois fois plus petite pour ceux-ci que pour les marchandises. [Voir *Rapport de mission*, p. 176.]

(**) Les trains qui font 45 kilomètres à l'heure ne peuvent évidemment s'arrêter à toutes les stations. Cependant ils transportent des voyageurs de 3e classe, et ils les transportent parfois à un prix égal ou inférieur à 1 penny par mille. Jusqu'en juin 1874, en vertu de la loi du 9 août 1844, les recettes ainsi réduites de la 3e classe n'avaient pas été soumises à l'impôt des voyageurs. [Voir

4° Des trains de marchandises express, dont la vitesse est comprise entre 32 et 40 kilomètres;

5° Des trains de marchandises lents;

6° Enfin les lourds trains de charbon, dont la vitesse est, autant que possible, limitée à 24 kilomètres.

Parmi les trains de voyageurs qui journellement partent du terminus d'Euston, il y en a 64 qui vont au moins jusqu'à Rugby (133 kilomètres), point où la grande ligne se divise en quatre autres. De ces 64 trains, 30 appartiennent à la première catégorie et 5 à la seconde. Pour les marchandises, il y a 32 trains express, 27 trains ordinaires, et 23 autres qui s'arrêtent à toutes les stations.

Les trains d'ailleurs vont en augmentant de longueur et de poids. Par exemple, l'express qui part d'Euston à cinq heures de l'après-midi avait, en 1863, 63 mètres de longueur et pesait 104 tonnes; il a maintenant 234 mètres et pèse 212 tonnes.

Service des marchandises. — Les trains de marchandises express ne sont organisés qu'entre les villes les plus importantes. Les autres localités, les stations intermédiaires, sont desservies par des trains locaux, et leurs marchandises amenées d'abord à des centres importants, notamment des

---

l'*Appendice* annexé à notre *Rapport de mission*, édit. in-4°, p. 142.] Mais la Cour de l'Échiquier a décidé l'année dernière, dans une instance soutenue par le *North London*, que l'impôt serait désormais appliqué à tous les trains qui ne s'arrêtent pas à toutes les stations. Cette décision, déjà portée à la connaissance des « *propriétaires* » (les actionnaires) du London and North Western dans l'assemblée générale du 22 août 1874, leur a été rappelée, non sans amertume, le 20 février 1875. Gravement lésée dans ses intérêts, la Compagnie voit une pénalité dans cet impôt qui semble la frapper pour le fait de procurer aux voyageurs pauvres des avantages plus grands qu'elle n'y est obligée par la loi. En attendant le résultat d'un appel présenté par le North London, elle engage les sociétaires à protester vivement devant l'opinion publique et à signer une pétition adressée au Premier Ministre ainsi qu'au Chancelier de l'Échiquier.

stations d'embranchement comme Rugby ou Crewe; là les marchandises sont groupées et classées à nouveau, mises en trains directs, et expédiées sans plus de retard à leur destination. Ceci peut expliquer l'extrême importance qu'on en Angleterre les opérations de triage, de groupement, de formation des trains de marchandises. La compagnie du London and North Western y consacre 171 machines en permanence. Le nombre des heures durant lesquelles ces machines ont travaillé, du 30 juin 1873 au 30 juin 1874, a été de 613.472, ce qui représente, à raison de 6f,25 par heure, une dépense de 3.834.200 francs. M. H. Footner, employé de la Compagnie, vient, dit-on, d'imaginer un procédé de groupement, récemment appliqué à Edgewill (Liverpool), et qui paraît supérieur à tous ceux qu'on avait mis en usage jusqu'ici.

M. Findlay cite des exemples de la célérité avec laquelle les marchandises se transportent dans certains cas. Entre toutes les villes importantes de l'Angleterre, il ne faut que 24 heures pour aller prendre à domicile, transporter et opérer la livraison; 48 heures suffisent entre l'Angleterre et l'Écosse ou les ports d'Irlande. Le marchand du Yorkshire achète un jour de la laine dans un entrepôt de Londres, et le lendemain elle est dans son magasin; le fileur du Lancashire achète du coton à Liverpool, et le lendemain ce coton peut être sur les métiers qui doivent le mettre en œuvre. De Milford, d'Holyhead, de Liverpool, de l'Écosse et de la côte orientale, depuis le printemps jusqu'à la fin de l'année, le poisson arrive en parfait état à Londres et dans toutes les villes importantes, assez peu cher d'ailleurs pour être à la portée de tous (*).

(*) Nous croyons inutile de rappeler que cette célérité du service des marchandises est due en partie à ce que les compagnies anglaises, n'étant pas gênées (comme les nôtres) par les délais accordés aux destinataires, camionnent généralement elles-mêmes les marchandises à domicile, prévenant ainsi tout encombrement des gares d'arrivée et pouvant, par suite, expédier sans aucun retard.

Locomotives. — Les trains de voyageurs sont remorqués par des machines appartenant à quatre types différents, dont voici les éléments essentiels :

	DIAMÈTRE des cylindres.	DIAMÈTRE des roues motrices.	SURFACE de chauffe (y compris le foyer).	POIDS de la machine en service.
	mètres.	mètres.	mètres carrés.	tonnes.
Premier type.	0,41	2,29	99,35	27 $\frac{1}{4}$
Deuxième type.	0,41	2,13	108,44	30 $\frac{3}{4}$
Troisième type.	0,43	1,68	99,91	31 $\frac{1}{2}$
Quatrième type.	0,43	1,98	100,74	32 $\frac{1}{2}$

Jusqu'à ces derniers temps, on attelait aux trains express de voyageurs des machines des deux premiers types, le poids qui pèse sur leur unique paire de roues motrices étant respectivement de 11$^{t}\frac{1}{2}$ et 12 tonnes. Mais on trouve maintenant préférable d'employer, pour les express un peu lourds, des machines à quatre roues couplées des deux derniers types, le poids supporté par les roues motrices étant respectivement de 21$^{t}\frac{1}{4}$ et 22$^{t}\frac{1}{2}$.

Pour les trains de charbon, le type de machine considéré comme le meilleur a six roues couplées de 1^{m},30 de diamètre, — des cylindres de 0^{m},43, — une surface de chauffe de 99^{mq},91 et un poids total de 29$^{t}\frac{1}{2}$.

Train de la Reine. — Nous allons indiquer, en terminant, les conditions spéciales dans lesquelles la Reine voyage sur les chemins de fer, les précautions particulières dont le train royal est l'objet : ce sera un moyen indirect de signaler les desiderata, les points faibles ou délicats du système ordinairement suivi.

Nous prendrons pour exemple le trajet de Balmoral à Windsor, que la Reine effectue chaque année à la fin de la belle saison, et qui s'accomplissait ainsi à la date des 20 et 21 novembre 1874.

Quelques mots d'abord sur l'itinéraire. — Du château de Balmoral (Écosse), on vient prendre à Ballater un chemin de fer qui, descendant vers l'est le long de la Dee, aboutit à Aberdeen. Ce trajet de 70 kilomètres se fait en une heure et demie. — D'Aberdeen à Carlisle, sur un parcours de 389 kilomètres, le train royal emprunte le réseau du *Caledonian.* Le trajet se fait en $8^h8^{min.}$, y compris $55^{min.}$ d'arrêt à Perth, à 7^h du soir, pour dîner. (On a quitté Ballater à 2^h de l'après-midi.) — A Carlisle, où l'on arrive à $11^h\frac{1}{2}$ du soir, deuxième et dernier arrêt de $20^{min.}$. De Carlisle à *Bushbury-Junction* (tout près de Wolverhampton, au nord-ouest de Birmingham), c'est le réseau du London and North Western qu'on traverse. Ce trajet de 288 kilomètres se fait en $5^h\frac{1}{4}$. — Enfin le train royal accomplit sur le Great Western le parcours de Bushbury à Windsor. Cette dernière étape est de 205 kilomètres et se franchit en $3^h50^{min.}$. On arrive à Windsor à $8^h50^{min.}$ du matin, ayant parcouru en $18^h50^{min.}$ une distance totale de 952 kilomètres (un peu plus de la distance de Nantes à Strasbourg).

Le train royal comprend un fourgon à chaque extrémité et onze voitures, dont cinq avant et cinq après celle de la Reine. La longueur totale occupée par les treize véhicules est de $122^m,76$, dont $58^m,71$ pour les six premiers. — C'est la compagnie du London and North Western qui les avait fournis tous au mois de novembre dernier. Mais le train fut remorqué par une machine du Caledonian entre Aberdeen et Carlilse, et par une machine du Great Western entre Bushbury et Windsor. Il était d'ailleurs desservi par le personnel de chacune des trois grandes compagnies, dans la traversée de leurs réseaux respectifs.

Arrivons à l'énumération des précautions exceptionnelles :

1° Toutes les roues du train royal peuvent être enrayées au moyen de freins dits *continus.* Une communication électrique relie chacun des compartiments avec les

gardes et ceux-ci avec le mécanicien. Le train porte d'ailleurs un appareil qui permettrait d'établir, en cas de besoin, une communication par les fils de la voie. — Deux agents doivent se tenir, l'un sur le tender, l'autre dans le fourgon de tête, les yeux constamment tournés vers l'arrière du train, afin de voir et de transmettre au mécanicien les signaux quelconques qui pourraient en venir.

2° Une machine-pilote voyage à 15 minutes en avant du train. Elle est accompagnée d'un agent muni d'une lampe à main et des signaux à employer en cas de brouillard.

3° Aucun autre véhicule ne doit circuler sur la voie que suit le train, ou même la traverser, durant un intervalle de 30 minutes au moins avant l'heure où il est attendu. On suspend même alors les manœuvres à opérer sur les voies auxiliaires qui rejoignent la ligne principale. — Aucun train, aucune machine ne doit s'engager à la suite du train royal pendant un intervalle de 15 minutes au moins. — Depuis le moment où la machine-pilote est attendue jusqu'après le passage du train, aucun train ou machine isolée ne doit s'engager, entre deux stations quelconques, sur la voie *de retour*.

4° Toutes les aiguilles prises en pointe sont fixées à demeure.

5° Tous les passages à niveau sont l'objet d'une surveillance spéciale. Les barrières de ceux qui n'ont pas de gardien sont fermées au cadenas une heure au moins avant le moment indiqué pour le passage du train et jusqu'après ce passage. Des poseurs sont placés le long de la ligne pour parer à toute éventualité d'obstacle.

Ajoutons enfin que la vitesse du train royal, non compris les arrêts, est réglée à 58 kilomètres seulement. Il est évident que des conditions semblables garantissent la sûreté de la circulation dans la limite des prévisions humaines.

Paris, 2 mars 1875.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

CHRONIQUE.

Avril 1875.

N° 16

EMPLOI DE LA CHAINE A GODETS
POUR LE DÉBARQUEMENT DES DÉBLAIS DRAGUÉS.

Tous les ingénieurs qui ont eu à diriger des dragages *en rivière* savent que l'avancement du travail est en général limité bien moins par la puissance des dragues que par l'évacuation des déblais dragués. Les margotats ou bateaux de transport font souvent défaut, immobilisés qu'ils sont contre la rive par les lenteurs du débarquement à la brouette; d'ailleurs le brouettage en rampe des déblais mouillés est fort dispendieux. Cette double considération a, depuis longtemps déjà, conduit à employer des moyens mécaniques pour la mise en dépôt ou le chargement en wagon des déblais dragués. On a, par exemple, dirigé d'abord ces déblais dans des caisses reposant sur le fond des bateaux de transport et susceptibles d'être enlevées par des machines avec leur contenu, qui se vidait ensuite; mais ces caisses, d'une manipulation assez compliquée, absorbent une partie notable de la capacité des bateaux (de 40 à 50 p. 100 peut-être) et de la force motrice employée au levage.

Pour éviter ces inconvénients, M. H. Hersent, entrepreneur de travaux publics, ancien associé de feu M. Castor, a eu recours à un autre moyen de débarquement des déblais dans les travaux de régularisation du Danube, à Vienne, et il vient d'en rendre compte lui-même dans un article publié par les *Annales industrielles* du 31 janvier.

Ce moyen consiste à extraire les déblais, du bateau qui les contient, à l'aide d'une chaîne à godets inclinée. La chaîne est installée soit sur un appontement fixe, reposant sur des pieux, et que le margotat accoste, soit sur deux bateaux entre lesquels le margotat vient se loger. Celui-ci est disposé de façon que les déblais s'accumulent dans le milieu de sa largeur. D'ailleurs la partie pendante de la chaîne à godets présente du mou dans *le bas*, de telle sorte que les godets s'engagent horizontalement dans la matière à enlever. *Du haut*, au contraire, cette partie pendante de la chaîne est repoussée par un tambour en fer (de $1^m,60$ environ de diamètre), ce qui aide à dégager la glissière d'écoulement des déblais. La capacité des godets (tout en tôle d'acier) est de 150 litres environ. La longueur des maillons est de $0^m,40$.

D'après M. Hersent, une machine à vapeur de 12 à 15 chevaux suffit pour débarquer de 150 à 200 mètres cubes de gravier par heure. Le nombre des godets qui viennent se vider successivement est alors d'environ 40 à la minute (ce qui suppose qu'ils sont à moitié pleins). Lorsque les déblais sont composés d'argile ou de sable mélangé de vase, le rendement est beaucoup moindre, car on ne peut faire passer que 20 ou 25 godets à la minute, et ils sont, paraît-il, encore moins remplis.

Voulant seulement signaler ici le principe de l'installation, nous renvoyons au texte et à la planche des *Annales industrielles* pour le détail des dispositions prises à Vienne. Nous ne chercherons pas d'ailleurs à préciser ce qu'elles présentent de neuf. Nous nous bornerons à rappeler que

c'est précisément avec une chaîne à godets, fixe ou flottante, qu'on débarque ou transborde les grains en Amérique (à Chicago, à Buffalo, à New-York) (*). L'application du même procédé au débarquement des déblais dragués ne pouvait manquer de procurer une double économie de temps et d'argent, dans les circonstances où les dragages ont assez d'importance pour motiver une installation spéciale.

Paris, le 28 février 1875.

E. M.

N° 17

Société amicale de secours entre les ingénieurs et anciens ingénieurs des ponts et chaussées et des mines. — Il a été rendu compte dans les *Annales* (1874, 2e semestre, p. 124) des modifications aux statuts qui ont été proposées et adoptées par l'assemblée générale du 16 mai 1874, dans le but de faciliter le recrutement des sociétaires perpétuels. Il avait été décidé en principe, d'autre part, que les ingénieurs des mines seraient appelés à l'avenir à faire partie de la Société de secours. Cette réunion, subordonnée à l'apport, par les ingénieurs des mines, d'un certain capital, entraîne divers changements dans les statuts et le règlement. Une assemblée générale extraordinaire, tenue le 12 décembre 1874, sous la présidence de M. l'inspecteur général Thoyot, remplaçant M. Gayant empêché, a adopté à l'unanimité les propositions du Conseil d'administration, de telle sorte que la réunion des ingénieurs des ponts et des ingénieurs des mines dans une même Société de secours aura pu avoir ses effets, pour l'attribution des secours, à partir du 1er janvier 1875.

(*) *Rapport de mission*, p. 521 et 524, Pl. 61.

Il a été constaté que l'apport des ingénieurs des mines est d'environ 6.000 francs et se trouve avec le capital actuel de la Société de secours, 32.000 francs environ, sensiblement dans le rapport des nombres des ingénieurs (130 et 679) de l'un et l'autre corps : la fusion a donc pu se faire équitablement au point de vue pécuniaire.

La composition du Conseil d'administration a dû être modifiée : ce Conseil se composera désormais de quinze membres, douze ingénieurs des ponts et trois ingénieurs des mines; il sera renouvelé par tiers, de manière qu'il y ait chaque année quatre ingénieurs des ponts et chaussées et un ingénieur des mines sortants.

Il a été jugé convenable, d'autre part, de modifier le bureau, et l'on a décidé que, à l'avenir, le Conseil d'administration aura un président et deux vice-présidents, et que l'un des trois sera nécessairement pris parmi les membres du corps des mines qui feront partie de ce Conseil.

Nous ne croyons pas nécessaire d'insister sur les modifications qu'il a fallu apporter au règlement intérieur pour en mettre les articles d'accord avec les résolutions qui ont été adoptées dans les deux assemblées générales du 16 mai et du 12 décembre 1874.

Le président, avant de lever la séance, a insisté sur la lenteur avec laquelle se font les rentrées, lenteur qui est telle que, à cette date, la caisse était quelque peu à découvert. Il y a lieu d'espérer que le nombre des sociétaires perpétuels va croître rapidement et que les sommes ainsi versées et capitalisées fourniront des ressources absolument assurées qui permettront de répondre à des besoins pressants.

École technique des chemins de fer. — Il existe à Nippe (Prusse) une école technique des chemins de fer, créée par les directeurs de la compagnie du chemin de fer rhénan

en 1872. Cette école a pour but de donner aux jeunes gens qui se destinent à la carrière de la construction et de l'exploitation des chemins de fer une instruction convenable; elle a deux classes, chacune avec un cours d'une année. Pour y entrer il faut posséder les connaissances acquises dans les écoles primaires; le payement peu élevé est de 30 fr. par an dans la deuxième classe et de 44 francs pour la première classe; les fils des employés du chemin de fer rhénan ne payent que la moitié de cette somme.

A cette école est jointe une école professionnelle pour les ouvriers de la compagnie; elle est obligatoire pour les apprentis.

Chemins de fer du Danemark. — Dans le cours de 1874, trois nouvelles lignes ont été ouvertes : l'une en Lollande, l'autre en Jutland et une dernière mise récemment en exploitation, d'une longueur de 87 kilomètres, qui réunit Copenhague au petit port de Kallundborg et abrége considérablement le trajet de la capitale au Jutland.

Le réseau a une longueur d'environ 1.120 kilomètres, dont plus des deux tiers appartiennent à l'État. En comparant ce chiffre à celui de sa population, 1.861.000 habitants, et à celui de sa surface, on trouve que le Danemark a 602 kilomètres de chemins de fer pour 1 million d'habitants et 30 kilomètres par 1.000 kilomètres carrés.

Chemins de fer d'Angleterre. — L'*Économiste français* a publié une étude sur les chemins de fer anglais (Angleterre et pays de Galles) d'où les chiffres suivants sont extraits.

Les nombres de voyageurs transportés par les chemins de fer anglais se sont répartis conformément au tableau ci-joint :

	1870	1871	1873
1re classe.	27.004 386	30.092.538	32.474.219
2e classe.	66.736.823	73.011.105	62.866.761
3e classe.	194.891.712	225.449.303	306.124.106
Totaux.	288.632.921	328.552.946	401.456.086
Abonnements.	118.110	»	257.470

En 1870 la longueur des lignes exploitées était de 17.668 kilomètres ; elle était de 18.296 kilomètres en 1873. L'augmentation du nombre des voyageurs est considérable, mais la répartition présente un point important à signaler. On voit que entre 1871 et 1873, malgré l'accroissement considérable du nombre des voyageurs, le chiffre des voyageurs en deuxième classe a diminué, tandis que celui des voyageurs en troisième classe a considérablement augmenté. Cette irrégularité tient à ce que, à partir du 1er janvier 1872, la compagnie du Midland (et toutes les autres après elle) décida d'introduire des voitures de troisième classe dans tous les trains. Cette réforme amena des résultats satisfaisants qui se manifestèrent par une élévation des recettes, ainsi que l'indique le tableau suivant :

	1870	1873
1re classe.	83.242,025	92.190:950
2e classe.	109.108.325	85.953.300
3e classe.	154.430.750	248.516.525
Abonnements.	14.988.000	21.375.600
Totaux.	361.890.952	448.036.375

Il résulte de ces tableaux que, en moyenne, chaque voyageur payait 1,25 en 1870, tandis qu'il n'a payé que 1,116 en 1873. Malgré cet abaissement du prix moyen de la place, les recettes et les bénéfices ont sérieusement augmenté.

C'est en se basant sur les résultats dont nous venons de donner un résumé que le Midland a décidé la nouvelle réforme annoncée dernièrement : la suppression de la

deuxième classe. Les autres compagnies n'ont pas, jusqu'à ce jour, suivi le Midland, et même quelques difficultés se sont élevées sur l'application des tarifs relativement à une section commune au Midland et au Great Western.

C. M. G.

N° 18

PONT TOURNANT

DE

BASSINS DE RADOUB DE MARSEILLE.

NOTE

Par M. BARRET, ingénieur de la compagnie des docks de Marseille.

Considérations générales. — Le rôle considérable que jouent les instruments de radoub dans les grands ports maritimes, l'importance du capital engagé pour leur construction (*), les dommages qu'occasionnerait au commerce, à la navigation ainsi qu'à la compagnie qui les exploite un chômage forcé un peu long, résultant des avaries qui peuvent survenir aux divers appareils qu'ils comportent, tels que machines et pompes d'épuisement, bateaux-portes, ponts tournants, etc., etc., obligent les ingénieurs à étudier ces ouvrages et à les construire dans des conditions telles, qu'en cas d'accident les réparations puissent être effectuées dans un laps de temps relativement très-court.

Ces appareils ne représentent, en effet, qu'une faible partie de la dépense totale (**) et nécessitent beaucoup plus de surveillance et d'entretien que les formes sèches, considérées comme travaux maritimes de premier ordre, d'une durée presque illimitée et d'un entretien insignifiant.

(*) A Marseille, l'ensemble des travaux a coûté 8 millions de francs.

(**) A Marseille, ces appareils ont coûté 1 million.

Ces diverses considérations nous ont engagé à faire mouvoir le pont tournant qui commande la passe d'entrée des bassins de radoub, sur un pivot hydraulique, complétement indépendant du tablier du pont. Tous les organes du pivot et des appareils servant à le faire tourner et à le caler peuvent, au besoin, s'enlever et se réparer, sans qu'on ait à soulever et à déplacer le tablier, comme cela a lieu lorsqu'on emploie les plaques tournantes pour lesquelles, en pareil cas, il faut l'aide de presses hydrauliques ou de vérins pour le moins.

Les plaques tournantes des ponts d'une largeur et d'un poids exceptionnels présentent certaines difficultés de construction. Celles du pont de Brest, sur la Penfeld, qui ont 9 mètres de diamètre et une charge à supporter de 350 tonnes, ont nécessité, pour les tourner, un outillage spécial qui a coûté à l'usine du Creuzot une somme de 70.000 francs.

Il est également très-difficile, dans les plaques tournantes, de répartir d'une manière uniforme le poids total de la partie mobile sur l'ensemble des galets de roulement, à moins d'interposer entre la couronne supérieure et le tablier une plate-forme rigide composée de poutres transversales ; ce qui n'est pas toujours praticable à cause du peu de hauteur dont on dispose dans les ports, entre le niveau de l'eau et la cote à laquelle se trouvent les rails de la voie ferrée ou le plancher de la voie charretière.

Les galets ne présentent pas tous la même homogénéité ; il en est qui s'usent assez rapidement, d'autres qui s'écornent. Cette circonstance oblige de recourir à l'usage de la presse pour soulever le tablier, afin de pouvoir dégager les galets et les réparer. Ainsi, le port de Brest est muni de quatre presses hydrauliques destinées à cet usage.

Pour le pont des bassins de radoub de Marseille qui présente plus de difficultés que le pont de la Penfeld, à cause de la grande largeur de son tablier, il aurait fallu, si nous

avions adopté la plaque tournante, employer aussi quatre presses et les faire agir aux extrémités de deux chevêtres placés à une distance de 16 mètres d'axe en axe.

D'un autre côté, l'élévation d'un tablier à une certaine hauteur (*), à l'aide de quatre presses, s'effectue beaucoup plus irrégulièrement qu'avec une seule, surtout si le tablier est actionné par une force extérieure, telle que le vent qui, en déplaçant son centre de gravité, charge les presses inégalement. Même en les supposant également chargées, comme on ne peut obtenir une conformité rigoureuse dans le diamètre des pistons, dans la forme des garnitures et dans les orifices d'introduction de l'eau, il est presque impossible que quatre presses parcourent des espaces égaux dans l'unité de temps.

A ces causes diverses et permanentes auxquelles se joint le plus ou moins bien fini du travail, ajoutons la rupture soudaine d'un tuyau des presses, et l'on reconnaîtra que le pont, ainsi soulevé, court le risque de se disloquer. De plus, le choc s'effectuant sur les couronnes de roulement, les mettrait évidemment en pièces.

Les plaques tournantes exigent l'emploi d'appareils de calage aux extrémités de la volée et de la culasse afin de dégager ces dernières de leurs appuis, lorsqu'il s'agit de faire tourner le pont, ou de les relever à la hauteur de la voie, lorsqu'on remet le pont en place.

Lorsque les grandes fermes supportant le tablier ont la forme d'un solide d'égale résistance, les semelles supérieures, ayant un développement plus considérable que les semelles inférieures et étant, en outre, plus exposées à l'action du soleil, éprouvent, par l'effet de la dilatation, un allongement beaucoup plus grand et forcent le tablier à

(*) Les galets de la plaque tournante du pont de Brest ayant $0^{m},60$ de diamètre au gros bout, dès que les galets sont enlevés, l'espace libre entre les deux couronnes de roulement doit être de $0^{m},70$ environ.

s'arc-bouter sur les appuis de la volée et de la culasse, au point de rendre le décalage très-difficile (*).

Il faut ajouter que les galets, indépendamment de la charge permanente, ont aussi à supporter la surcharge et, comme leur surface de contact avec les couronnes n'est qu'une simple ligne droite qui offre peu de résistance, cette même surface, au lieu de rester ronde, finit par s'aplatir suivant la ligne de contact. Il faut alors repasser les galets sur le tour.

Le travail du frottement devient très-notable, soit par suite de l'inégalité de répartition de la charge sur les galets, — ce qui donne lieu à plus ou moins d'usure, — soit par la présence des corps étrangers que le vent porte sur les surfaces de roulement des couronnes. Enfin, un tassement dans les fondations, donnant lieu à une dénivellation de la plaque, peut rendre la rotation complétement impossible, par suite de l'accroissement de résistance qui en résulte ; de plus, les couronnes pouvant être mises hors d'usage par le même fait, peuvent condamner une passe à rester fermée pendant plusieurs semaines.

Le mécanisme du pont des bassins de radoub est, au contraire, complétement indépendant du tablier, ce qui permet de le réparer pendant que le pont est en service ; et si un tassement venait à se produire dans la pile en maçonnerie qui supporte la presse, on n'aurait qu'à niveler la partie sur laquelle repose la chaise en fonte qui ne présente qu'une surface de $3^{mq},34$. Un travail de quelques heures suffirait.

La presse et les autres organes ne travaillent que lors-

(*) Le pont établi sur la passe Missiessy, à Toulon, a subi à ce point l'augmentation de flexion qui résulte de cet arc-boutement, qu'on a été obligé de garantir les semelles supérieures des fermes, contre l'ardeur du soleil, par une enveloppe en bois, dans laquelle un courant d'air a été ménagé. — Voir *Ann.* 1872, 2e sem., p. 269.

qu'on soulève le pont et qu'on lui fait effectuer sa rotation. Pour dix opérations d'ouverture et de fermeture qui se font actuellement en moyenne dans une journée à la passe des bassins de radoub de Marseille, la presse et le mécanisme du pont ne travaillent qu'une heure environ, tandis qu'une plaque tournante travaillerait pendant les vingt-quatre heures.

Nous devons dire, cependant, qu'à côté des inconvénients que nous venons de signaler, les plaques tournantes ont l'avantage d'être d'une construction facile, de présenter une très-grande surface d'appui au tablier, de donner un surcroît de stabilité à l'ensemble de l'ouvrage et de ne point comporter d'organes, tels que tuyaux, garnitures, soupapes, joints, etc., qui, étant actionnés par l'eau sous de fortes pressions, semblent présenter certaines sujétions, tant dans l'exécution des travaux que pour leur fonctionnement.

Mais la délicatesse de ces mêmes organes est plus apparente que réelle, et depuis longtemps leur emploi est rendu pratique par suite des progrès qu'on a réalisés dans la construction des machines et des appareils hydrauliques.

Il y a vingt-cinq ans que Robert Stephenson élevait sur des piles de 40 mètres de hauteur les travées fixes, pesant 2.300 tonnes, du pont de Britannia.

Edwin Clarke soulève tous les jours hors de l'eau, à Victoria Docks, avec des presses fonctionnant sous la pression de 200 atmosphères, des navires dont le poids atteint 3.000 tonnes.

Les grandes portes d'écluse des bassins de flot des principaux ports de l'Angleterre, ainsi qu'un certain nombre de ponts tournants sur plaques, tels que celui de Victoria Docks, sont mus par les appareils hydrauliques de sir William Armstrong.

Les appareils destinés à transformer directement la fonte de première fusion en acier, par le procédé Bessemer, les-

quels fonctionnent généralement jour et nuit, sont mus aussi par les engins hydrauliques, et c'est en partie à leur bon fonctionnement, qu'on doit attribuer le succès de cette fabrication, qui a acquis aujourd'hui une importance capitale dans l'industrie métallurgique.

Sir William Armstrong a fait l'application de la presse centrale sur des ponts tournants parmi lesquels nous citerons comme les plus importants :

Celui de Regent Canal, 450 tonnes ;

Celui du dock de Milwal, à Londres, pesant 500 tonnes (*).

Celui de Wisbach, à l'arsenal royal de Woolwich, pesant 410 tonnes (**).

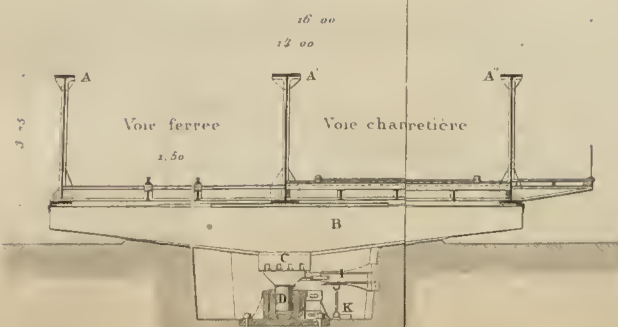
Nous avons nous-mêmes aux docks de Marseille plus de soixante appareils hydrauliques de manutention fonctionnant sous une pression normale de 52 atmosphères. Ces appareils sont alimentés par un tuyautage de plus de 7.000 mètres de développement, et depuis dix ans qu'ils fonctionnent, le travail de ces divers engins n'a pas été arrêté, même pendant une heure.

Position des bassins de radoub. — Les bassins de radoub du port de Marseille sont établis dans l'intérieur des terres, à la pointe de la Madrague, parallèlement au bassin national. Ils n'en sont séparés que par la voie publique du quai de rive et une bande de terrain ayant ensemble une largeur de 92 mètres.

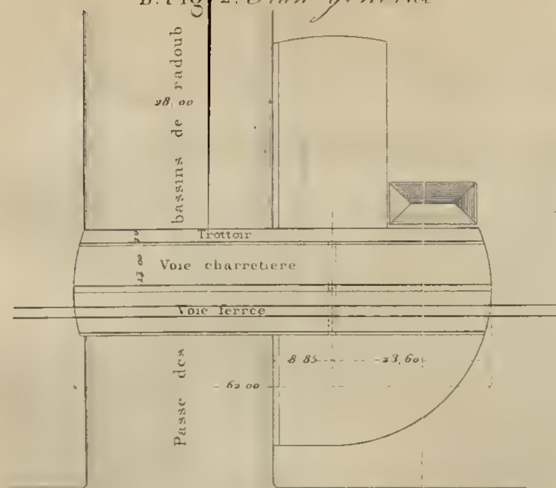
(*) Le pont des bassins de radoub de Marseille a un poids total de 760 tonnes.

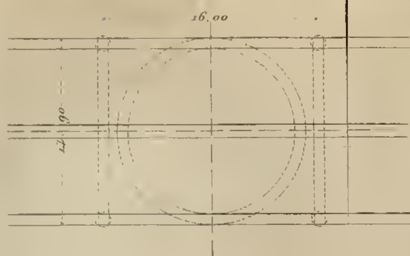
(**) Les poids que nous indiquons nous ont été fournis par sir William Armstrong dans une lettre qu'il nous a fait l'honneur de nous écrire le 9 février 1870.

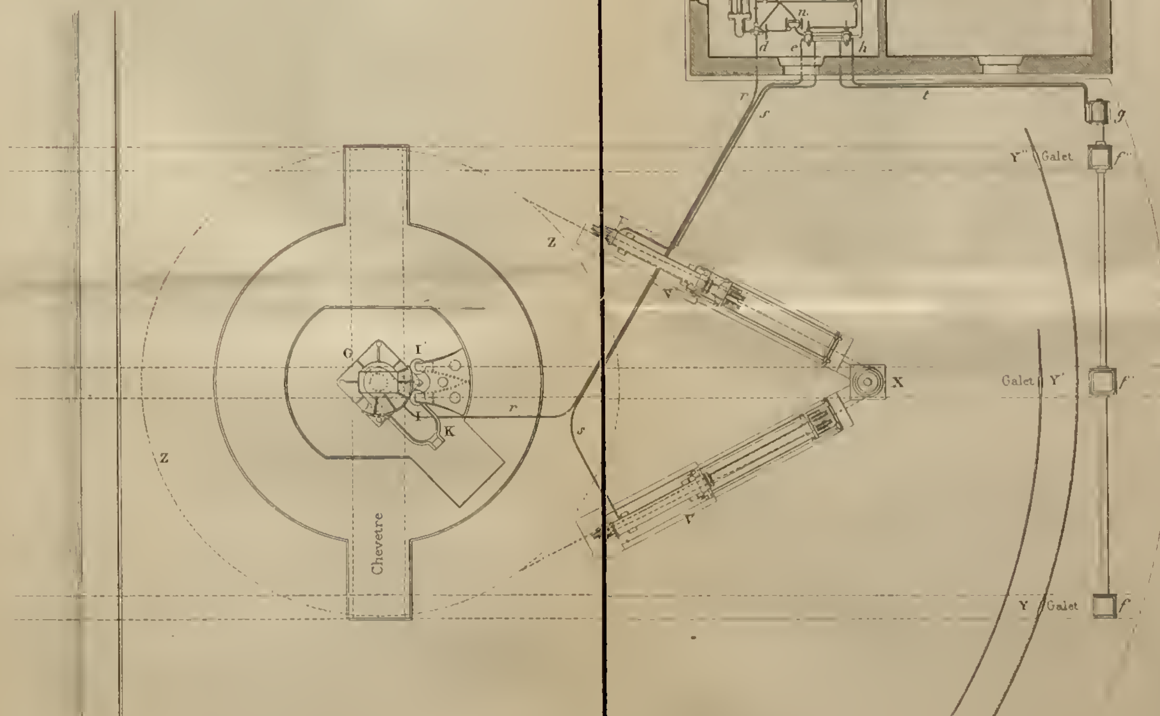
Nous regrettons de ne pouvoir donner sur le mécanisme de ces ponts des renseignements qui trouveraient ici leur place. N'ayant pas eu l'occasion de les voir, nous ignorons si les dispositions que nous avons adoptées pour la construction de la presse centrale, des garnitures, des guides et des appareils de sûreté et de distribution, ont quelque analogie avec le système appliqué par le célèbre ingénieur anglais.

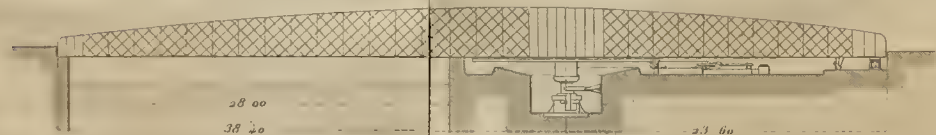


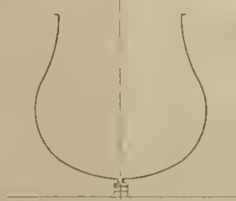


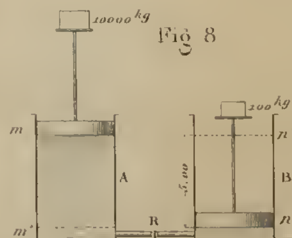










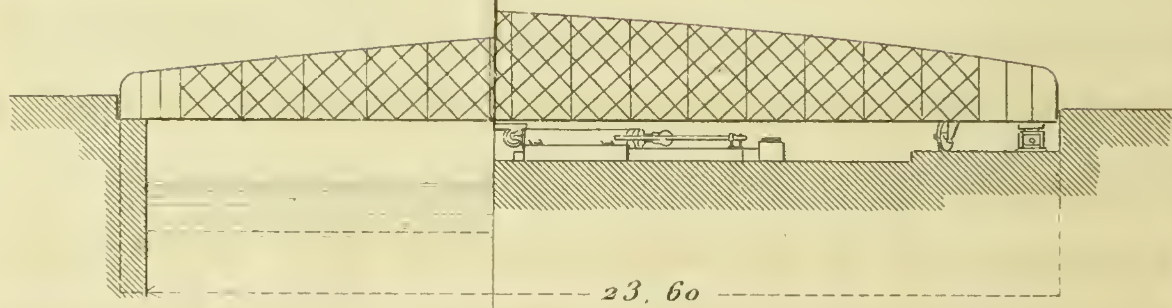


Echelle C de 0m002 pour 1m

Echelle B de 0m001 pour 1m

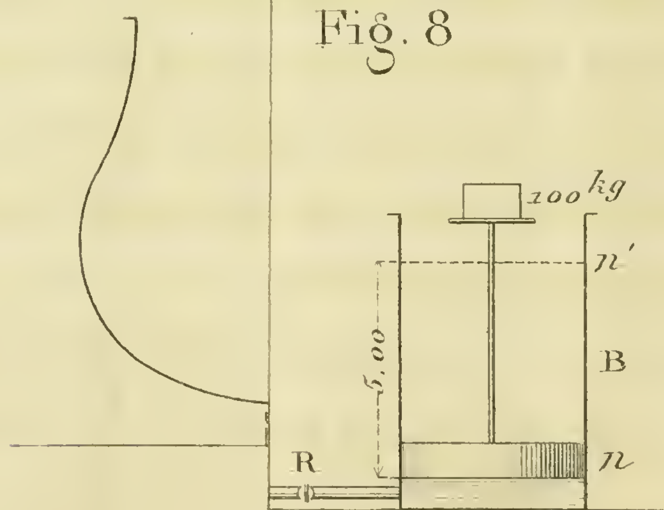
Echelle A de 0m005 pour 1m

Gravé par E. Pérot



Fig

Fig. 8



Annales des Ponts et Chau

Le bassin national et les bassins de radoub sont mis en communication par une passe de 28 mètres de largeur, ayant, par conséquent, 92 mètres de longueur.

Description du pont. — Le pont tournant à une seule volée qui est établi sur cette passe est le plus lourd et le plus large que l'on ait exécuté jusqu'à présent tant en France qu'à l'étranger. Il comporte une voie ferrée, une voie charretière et un trottoir pour piétons (Pl. 12, *fig.* 1 et 2).

L'ossature du pont se compose (Pl. 12, *fig.* 1) :

1° De trois grandes fermes A portant un tablier de 62 mètres de longueur sur 14 mètres de largeur (*);

2° D'un encorbellement fixé sur la ferme faisant face au bassin de stationnement et destiné à recevoir le trottoir pour piétons;

3° D'un grand chevêtre B établi au-dessous des fermes, dans l'axe transversal passant par le centre de gravité du pont, lequel se trouve à 23m,60 de l'extrémité de la culasse.

C'est au-dessous de ce chevêtre qu'est placée la presse hydraulique destinée à soulever le pont et à lui servir en même temps de centre de rotation.

Cette presse est supportée par une pile en maçonnerie à la chaux du Theil, ayant 15 mètres de diamètre et fondée à sec sur le terrain solide.

Chaque ferme porte vers l'extrémité de la culasse une roue se mouvant sur un rail en fer (*fig.* 6). Il y a deux voies, l'une de 19m,50 de rayon pour la roue de la ferme intermédiaire, l'autre de 20m,59 de rayon pour les roues placées sous les fermes extrêmes.

La culasse des fermes est seule calée à l'aide de coins.

Une couronne en fonte de 14 mètres de diamètre, por-

(*) Ce pont aurait nécessité une plaque tournante d'un diamètre égal à la largeur du tablier, soit 14 mètres, c'est-à-dire 5 mètres de plus que celles du pont de Brest.

tant une gorge, est fixée sous le tablier, pour recevoir les chaînes des appareils de rotation.

Appareils de manœuvre. — Les appareils de manœuvre mus par l'eau sous pression sont les suivants (Pl. 12, *fig.* 5 et 6) :

1° La presse centrale, destinée à soulever le pont et à former le pivot de rotation ;

2° Le cylindre de manœuvre des coins de calage de la culasse ;

3° Les deux appareils agissant sur la chaîne de rotation ;

4° Un appareil de compression destiné à fournir à la presse centrale l'eau à 270 atmosphères nécessaire pour soulever le pont ;

5° Enfin, les soupapes et tiroirs de distribution pour la manœuvre des appareils ci-dessus. Tous ces engins sont alimentés par l'eau sous pression que fournit la machinerie centrale des docks placée à 1.400 mètres du pont.

Manœuvre du pont. — Pour mettre le pont en mouvement, il faut :

1° Décaler l'extrémité de la culasse pour la dégager de ses appuis et faire reposer les roues sur les rails ;

2° Soulever le pont au moyen de la presse, jusqu'à ce que les appuis de l'extrémité de la volée soient complétement dégagés, et lui faire effectuer son mouvement de rotation au moyen des appareils hydrauliques qui agissent sur la couronne en fonte placée sous le tablier.

Un seul homme suffit pour exécuter ces manœuvres, quelle que soit la violence du vent, et le temps employé pour l'ouverture ou la fermeture du pont ne dépasse pas actuellement trois minutes (*).

(*) Lors des essais, alors que les mouvements étaient encore durs et le conducteur peu exercé, on employa 5 minutes pour une rotation.

Ces derniers jours quatre expériences ont donné en moyenne :

a. Soulèvement du pont, décalage et rotation. . . 2^{min},58
b. Rotation, calage et descente du pont. . . . . . . 3 ,02

Par un temps parfaitement calme il faut, pour manœuvrer le pont de Brest, deux hommes à chaque volée et quinze minutes pour l'ouvrir ou le fermer. Par un grand vent le nombre d'hommes doit être considérablement augmenté, ainsi que le temps employé à la rotation. Le pont tournant du Hâvre, qui a une seule volée ne pesant que 120 tonnes, nécessite pour le décalage, le calage, l'ouverture et la fermeture, quatre hommes poussant à l'extrémité de la culasse et quatre minutes de temps.

Des index, placés dans le bâtiment où sont logés les appareils de distribution, indiquent au conducteur si le pont est soulevé à la hauteur voulue, s'il est calé ou décalé et enfin, lorsqu'il est sur la passe, s'il occupe exactement la position qui lui est assignée pour que la voie ferrée du tablier soit bien dans le même alignement que la voie ferrée de la terre ferme.

Stabilité longitudinale du tablier. — Lorsque le pont est en mouvement, le poids de la partie mobile (700 tonnes) est réparti de façon que la presse soit chargée de 685 tonnes et les roues de la culasse de 15 tonnes, soit 5 tonnes par roue, ce qui nous a paru suffisant pour assurer la stabilité longitudinale du système contre l'action du vent qui, en agissant sur la volée dont la surface est plus grande que celle de la culasse, pourrait tendre à faire basculer le tablier.

Il faudrait, en effet, pour faire basculer le pont, c'est-à-dire déplacer son centre de gravité de manière à l'amener à $0^{m},30$, par exemple, en avant du pivot, qu'une force extérieure de $26^{T},600$ agît au milieu de la volée (*).

(*) Depuis que le pont est en service il a été manœuvré plusieurs fois, sans aucun inconvénient, par de forts coups de vent de mistral; notamment les 11, 12 et 13 mai 1874, alors qu'aucun navire ne pouvait entrer dans le port ou en sortir.

Du reste, les ouvrages en maçonnerie de la cuvette et les murs de quais sont disposés de telle sorte que, si une action extérieure

Stabilité transversale du tablier. — Lorsque le pont est soulevé ou lorsqu'il est en mouvement, sa stabilité dans le sens transversal se trouve assurée par les conditions générales qui déterminent la position d'un plan, c'est-à-dire par une droite et par un point, savoir la ligne transversale suivant laquelle s'appuient les roues de la culasse et la tête du plongeur de la presse.

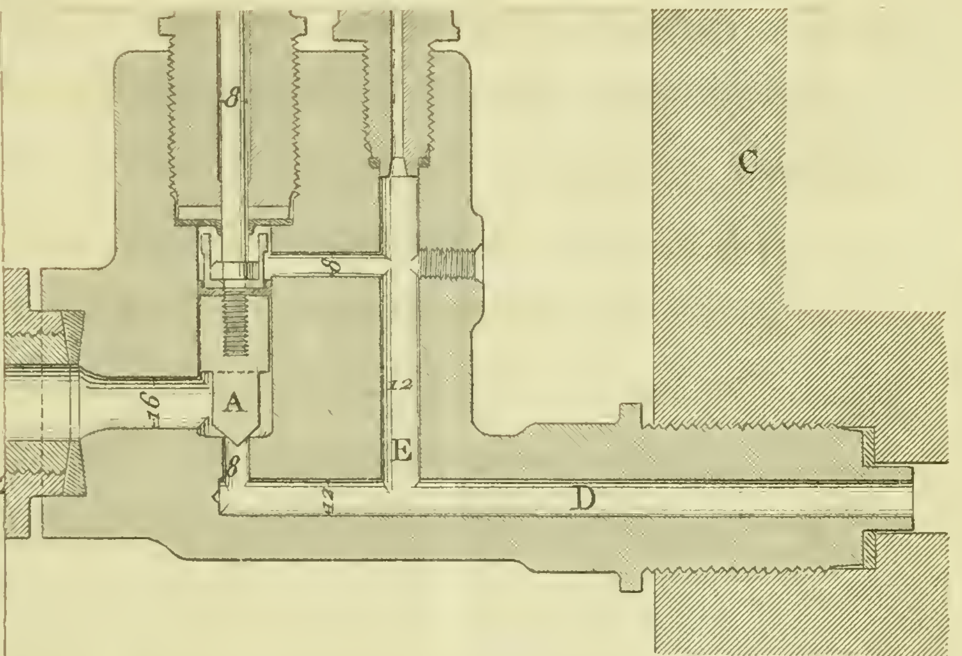
Il faut remarquer que la presque totalité du poids agit sur la tête du plongeur, c'est-à-dire sur le point, tandis que la droite, autrement dit les roues, ne porte que 15 tonnes. Mais le point que nous considérons a $1^{m},20$ de longueur sur $0^{m},63$ de largeur, ce qui donne une surface $0^{mq},7560$, et pour déplacer le centre de gravité du pont de $0^{m},30$ dans le sens transversal, c'est-à-dire d'une quantité égale au rayon du plongeur de la presse, il faudrait porter sur la ferme extrême qui se trouve dans cette direction une charge de 31 tonnes environ.

Les corps très-lourds se tiennent en équilibre sur de petites surfaces d'appui. Un vaisseau de premier rang de 14 mètres de largeur, de 11 mètres de hauteur et de 3,300 tonnes de poids, reste debout sur sa quille qui n'a que $0^{m},45$ de largeur, sans le secours d'épontilles (Pl. 12, *fig.* 7). En 1793, lorsque les Anglais furent forcés d'évacuer le port de Toulon, tous les efforts de l'équipage d'une flotille, tirant sur des amarres fixées sur les sabords supérieurs, ne purent parvenir à renverser un vaisseau en construction sur sa cale, dont les épontilles avaient été préalablement enlevées; il suffisait, cependant, de déplacer le centre de gravité du vaisseau de $0^{m},22$ dans le sens latéral.

Presse hydraulique. — La presse hydraulique est en fer forgé et présente, par conséquent, au point de vue de la

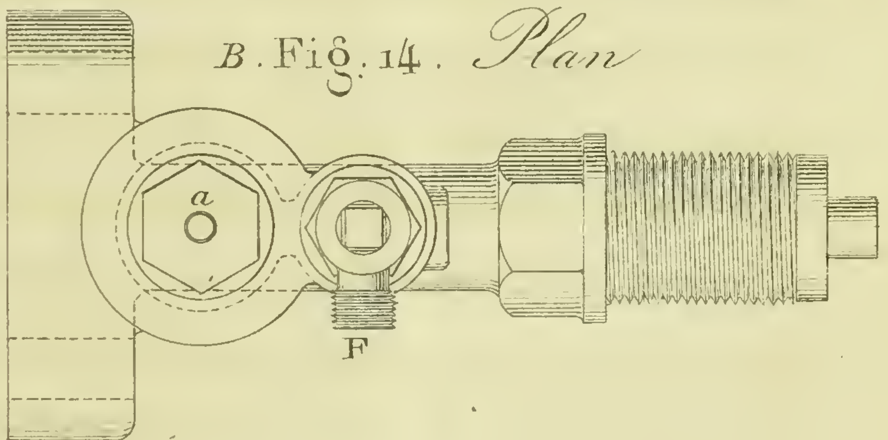
---

agissant sur la volée était assez puissante pour faire basculer le tablier, celui-ci, quel que soit le point de sa course de rotation, serait arrêté après une amplitude d'oscillation de $0^{m},10$.



B. Fig. 12

B. Fig. 14. Plan



...r 1^m

...chelle B de 0^{m}20 pour 1^m

4 0,10 0,20 0,30

Annales

Gravé par E. Pérot

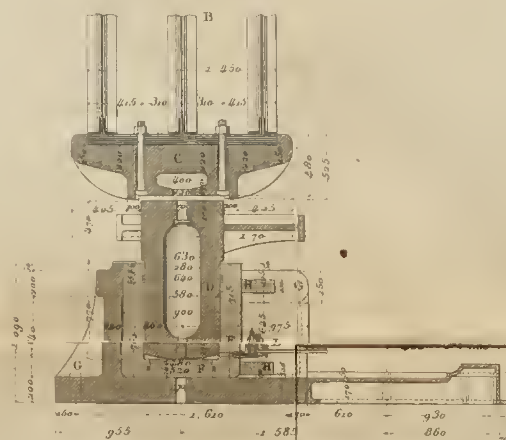
PONT TOURNANT DES BASSINS DE RADOUB DE MARSEILLE

Presse hydraulique

A. Fig. 1 Élévation

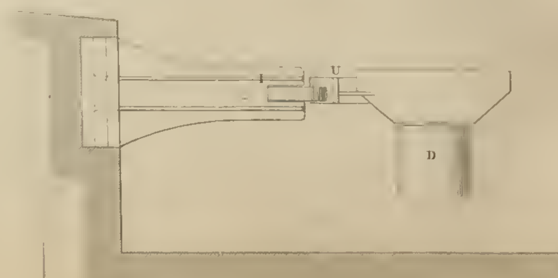


A. Fig. 2 Coupe verticale

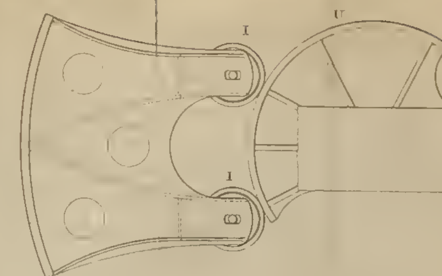


Galets de butée

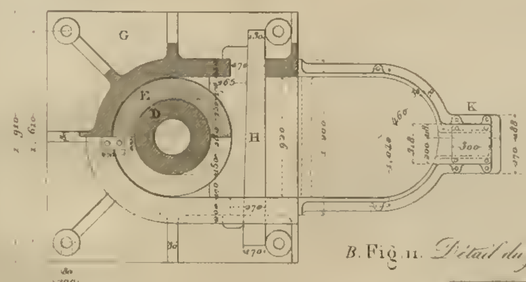
A. Fig. 4. Élévation



A. Fig. 5. Plan

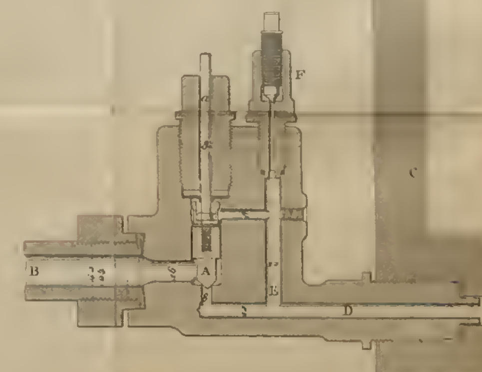


A. Fig. 3. Demi plan et demi coupe horizontale

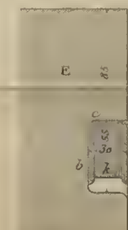


Appareil de sûreté

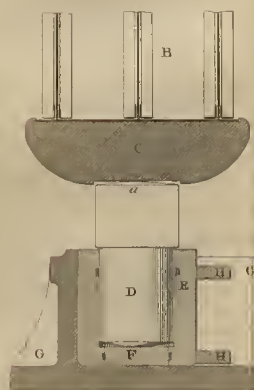
B. Fig. 13. Coupe



B. Fig. 11. Détail du joint du piston



A. Fig. 10.

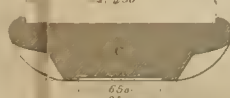


B. Fig. 12. Détail du joint du fond



Sommier du chevêtre

A. Fig. 8 Coupe



A. Fig. 9 Plan

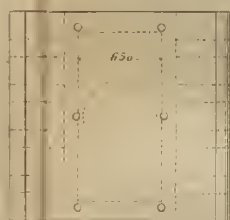


Fig. 6

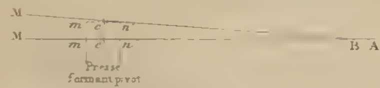


Fig. 7



B. Fig. 14 Plan

Echelle A de 0m,02 pour 1m

Echelle B de 0m,20 pour 1m

Gravé par E. Perot

résistance, la même sécurité que les grandes fermes (Pl. 13, *fig.* 1, 2 et 3).

Elle se compose d'une partie cylindrique de $0^m,890$ de hauteur, $0^m,900$ de diamètre extérieur et 0,580 de diamètre intérieur, terminée à sa base par un bourrelet intérieur dans lequel on loge un fond mobile, également en fer forgé, de 0,14 d'épaisseur et de 0,480 de diamètre.

Cette disposition a pour but d'en rendre l'exécution possible, car si le fond et les parois verticales étaient d'une même pièce, le travail de forge deviendrait excessivement difficile et la presse présenterait beaucoup moins de solidité.

La surface annulaire du bourrelet *a* (*fig.* 12, Pl. 13) doit être telle, qu'en multipliant par la pression de l'eau cette même surface, on obtienne une force supérieure au frottement de la garniture contre le plongeur, car sans cela, ce dernier, lors de son ascension, entraînerait avec lui le corps de la presse; le fond mobile seul resterait en place.

Le mode de construction que nous venons d'indiquer offre l'avantage de ne faire travailler presque exclusivement le métal du cylindre que dans le sens perpendiculaire aux génératrices, attendu que l'effort qu'il a à supporter dans la direction de ces dernières n'est égal qu'au frottement de la garniture de Bramah contre le plongeur, ce qui est insignifiant.

Garnitures de la presse. — Le rôle que joue la presse hydraulique dans le mécanisme exige que les garnitures dont elle est munie soient durables et parfaitement étanches, afin que le pont se maintienne invariablement, pendant toute la durée de la rotation, à la hauteur à laquelle il a été élevé.

L'étanchéité de la presse s'obtient au moyen de deux garnitures de Bramah placées, l'une sur le joint du fond mobile et l'autre à la partie supérieure, pour former le joint du plongeur.

Cette dernière est dans des conditions différentes que celles des presses ordinaires, car, dans le cas qui nous occupe, le plongeur a un mouvement ascensionnel et un mouvement de rotation; aussi la garniture a-t elle dû être confectionnée avec un soin tout particulier.

Supposons que nous ayons une garniture ordinaire de Bramah (Pl. 13, *fig.* 11), en cuir embouti, dont la lèvre *a* soit appliquée contre le plongeur et la lèvre *b* contre le corps de la presse. Si la hauteur des lèvres est de 0,04, leur développement de 1^{m},95, la pression de l'eau de 240 kilogrammes par centimètre carré, et enfin le rapport du frottement à la pression du cuir sur la fonte de 0,25, la force qui appliquera les lèvres *a* et *b* sur le plongeur et sur ce corps de la presse sera de 46.800 kilogrammes; il en résultera que le plongeur, dans son mouvement de rotation, entraînera la lèvre *a* avec lui, tandis que la lèvre *b* restera appliquée contre la presse, car la section de cuir *c* ne présente pas assez de solidité pour résister à cet effort.

Pour empêcher que le cuir ne se déchire, il a suffi de remplir l'espace compris entre les lèvres *a* et *b* par une bande en caoutchouc *k*. Le caoutchouc est poussé naturellement par l'eau sous pression au fond du fer à cheval formé par le cuir de la garniture, et de cette façon, si la lèvre *a* tend toujours à être entraînée par le plongeur, elle est retenue, en même temps, sur le caoutchouc avec plus d'énergie, attendu que le rapport du frottement du cuir sur le caoutchouc est plus grand que celui du cuir sur la fonte (*).

Chaise en fonte. — Le corps de la presse est logé dans une chaise en fonte où il est maintenu par des clavettes en fer (*fig.* 2 et 3, Pl. 13).

Cette chaise porte un appendice avec cric pour faire

(*) Pendant les épreuves le pont a été soulevé à 10 centimètres de hauteur et s'y est invariablement maintenu pendant dix heures.

sortir la presse en dehors de l'aplomb du chevêtre B en cas de réparation.

La base de la chaise est rectangulaire et a $1^m,83$ de côté sur $0^m,20$ d'épaisseur.

La partie cylindrique a $0^m,840$ de hauteur et une épaisseur de $0^m,14$. Des nervures de 8 centimètres la relient à la base.

Cette chaise devant servir à la fois de support et d'encastrement à la presse, nous lui avons donné des dimensions capables de la faire résister aux réactions qui pourraient se produire sur ce point si le tablier, à la fin de sa rotation, venait à se heurter trop vivement sur ses appuis de butée.

Plongeur de la presse. — Le plongeur de la presse est en fonte de seconde fusion ; la partie inférieure, qui a $0^m,58$ de diamètre, s'ajuste à frottement doux dans le corps de la presse; la partie supérieure, de forme prismatique, de $1^m,20$ de longueur et $0^m,630$ de largeur, s'emmanche dans le sommier en fonte fixé au-dessous du chevêtre du pont.

Lorsque le plongeur est au bas de sa course, il reste, entre la face supérieure du plongeur et le dessous du sommier, un jeu de 1 centimètre pour permettre l'enlèvement de la presse.

Forme que doit affecter la partie supérieure de la tête du plongeur. — Pour assurer le bon fonctionnement de la presse et éviter les avaries, il faut que la direction de la charge reposant sur le plongeur passe par l'axe de ce dernier, afin de ne pas avoir les décompositions de forces qui pourraient résulter s'il en était autrement.

En effet, supposons la tête du plongeur terminée par une surface plane (Pl. 13, *fig.* 6). Lorsqu'on l'aura fait passer de c en c', le tablier du pont qui occupait la position AM prendra celle de AM', et la charge, au lieu d'agir sur l'axe du plongeur, exercera son action sur l'arête n', d'où il résultera une décomposition de forces tendant à faire tra-

vailler le plongeur à la flexion et à donner lieu à une augmentation considérable de frottement.

L'inspection seule de la figure montre que, pour que le contact du pont avec le plongeur ait toujours lieu sur l'axe de celui-ci, pour une élévation déterminée, il faudrait que la tête présentât la forme d'un couteau de balance dont les côtés auraient un angle d'inclinaison un peu plus grand que l'angle $M'n'c'$.

Nous ferons remarquer que la hauteur à laquelle on élève le pont étant très-petite (*) relativement à la longueur de la culasse, l'inclinaison des faces du couteau est insignifiante ; pour notre pont elle n'est que de 1 millimètre de hauteur pour $0^m,300$ de base.

Nous devons ajouter à ce qui précède que pendant l'élévation du pont il s'effectue en même temps un petit déplacement latéral au point de contact des roues de la culasse, qui tend à les rapprocher de la presse.

En effet, la presque totalité de la charge agissant au point c', il ne peut y avoir de mouvement en ce point, et comme la longueur de la culasse reste constante, cA est égal à c'B. Il se produit donc sur les roues le mouvement latéral AB.

Ce déplacement n'est, du reste, pas considérable; pour le pont des bassins de radoub de Marseille, sur une longueur de culasse de $23^m,60$ et 5 centimètres de course du plongeur, il ne dépasse pas sensiblement $\frac{1}{5}$ de millimètre.

Sommier du chevêtre. — Comme nous l'avons dit plus haut, la tête du plongeur de la presse s'engage dans un sommier fixé au chevêtre.

Cette pièce (Pl. 13, *fig.* 8 et 9) est en fonte ; elle a $1^m,60$ de longueur sur $1^m,70$ de largeur et $0^m,48$ d'épaisseur. Sa

(*) 5 centimètres en hiver et 0.065 en été. La différence provient de l'augmentation de flèche que prennent les fermes par suite de la dilatation.

face inférieure, en contact avec la tête du plongeur, est plane.

Ce sommier est relié au chevêtre par six boulons de 60 millimètres de diamètre.

La tête du plongeur et le chevêtre doivent résister à l'effort d'écrasement que le pont exerce sur eux et, par suite, être à l'abri de toute déformation.

Placé entre ces deux pièces, le sommier pourrait ne se composer que d'une simple plaque en fonte de peu d'épaisseur, si la tête du plongeur était plane. Mais comme cette tête est taillée en forme de couteau de balance, il en résulte que le sommier travaille comme un corps reposant en son milieu sur un appui représenté par une ligne droite *a* (*fig.* 10, Pl. 13). De plus, les deux âmes extrêmes du chevêtre travaillent beaucoup plus que celle du milieu, à cause de la flèche que prennent les grandes fermes lorsque le pont est soulevé. Par ce fait, une flexion des semelles du chevêtre tend à se produire. Ces diverses raisons nécessitent, pour le sommier, une forte épaisseur de fonte.

Appareil de sûreté de la presse hydraulique. — Nous avons dit plus haut que les joints de la presse étaient parfaitement étanches et qu'on pouvait soulever le pont à une certaine hauteur et l'y maintenir pendant plusieurs heures. Mais il pourrait arriver qu'à un moment donné il se produisît une rupture dans les tuyaux de conduite d'eau sous pression, rupture occasionnée soit par l'usure ou la gelée, soit par un défaut de confection ou vice de matière. Dans ces cas le pont tomberait sur ses appuis, et le choc résultant de cette chute serait d'une puissance vive (mv^2) d'autant plus élevée, que la vitesse de descente serait plus rapide.

Nous ferons observer seulement que le mouvement du pont à la descente est uniforme au lieu d'être accéléré, comme dans la chute des graves, attendu qu'il ne peut se produire qu'au fur et à mesure de l'écoulement de l'eau contenue dans la presse, lequel est régulier, puisqu'il se

produit sous l'action de la charge constante qui agit sur le piston.

Pour empêcher la chute du plongeur de la presse, en cas de rupture d'un tuyau, nous avons muni la presse d'un appareil automoteur qui ferme l'échappement de l'eau dès que la rupture a lieu. Ce petit appareil (Pl. 13, *fig.* 13 et 14) se compose tout simplement d'une boîte en bronze, munie d'une soupape actionnée à sa partie supérieure et à sa partie inférieure par l'eau venant de la presse. Sur cette dernière agit également l'eau motrice.

La section annulaire de la partie supérieure sur laquelle agit l'eau de la presse n'est que de $0^{mq},00032987$ et la section de la partie inférieure de $0^{mq},00038012$; d'où il résulte que la soupape reste toujours ouverte, tant que l'eau contenue dans les tuyaux et la presse est actionnée par le poids du pont ; la soupape de sûreté reste également ouverte lorsqu'on fait échapper l'eau contenue dans la presse, afin de faire descendre le pont, car cette eau s'évacue sous la pression correspondant à la charge du pont.

Mais si l'un des tuyaux se brise, soit pendant qu'on élève le pont, soit pendant qu'on l'abaisse, la pression de l'eau dans le tuyau disparaît subitement, et la soupape qui est actionnée à sa partie supérieure par une charge plus grande que celle qui agit à sa partie inférieure, se ferme instantanément et le pont reste à la place qu'il occupait avant la rupture (*).

(*) Le tuyau qui relie l'appareil de compression à la presse doit toujours présenter un excès de solidité. Le 5 février 1874, au moment des essais, le pont étant soulevé à 12 centimètres, un tuyau en fer livré par les usines sans avoir été essayé préalablement, s'est rompu tout à coup suivant la génératrice sur une longueur de 8 centimètres environ. Le pont est resté toutefois au même point de sa course, l'appareil de sûreté ayant fonctionné instantanément.

Le tuyautage fut remplacé depuis par un autre beaucoup plus fort. Le 6 mai, à deux heures après midi, nous avons démonté,

Afin d'avoir une appréciation bien exacte de l'importance du choc qui se produirait si le pont tombait d'une hauteur de $0^{m},08$, supposons qu'à un moment donné les tuyaux se déchirent sur toute leur longueur et que l'appareil de sûreté, pour une cause quelconque, ne soit pas en état de fonctionner.

L'orifice pratiqué à travers l'épaisseur du métal du corps de la presse pour l'introduction et l'évacuation de l'eau n'a que 12 millimètres de diamètre, soit une section de $0^{mq},000113$; le diamètre du plongeur est de $0^{m},584$, ce qui correspond à une section de $0^{mq},267865$; le volume de la tranche d'eau contenue dans la presse, lorsque le pont est soulevé de 8 centimètres, est

$$0^{m},08 \times 0^{mq},267865 = 0^{mc},021429, \text{ soit } 21^{lit},4.$$

Le poids du pont réparti sur le plongeur étant de 685 tonnes, chaque centimètre carré sera chargé à raison de $255^{k},7$. Par conséquent, l'eau contenue dans la presse s'écoulera avec une vitesse égale à

$$v = \sqrt{2g.h} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 2557^{m}} = 223,98 \text{ par seconde.}$$

La quantité d'eau qui s'écoulera, par seconde, à l'orifice de la presse, en ne tenant pas compte des contractions et des frottements, sera donc égale à

$$223^{m},98 \times 0^{mq},000113 = 0^{mc},0253, \text{ soit } 25^{lit}.$$

Le volume d'eau contenu dans la presse étant de $21^{l},4$,

---

devant la commission de réception, les $22^{m},50$ de tuyaux qui relient le compresseur à la presse hydraulique, et après les avoir soumis à une charge d'épreuve de 355 atmosphères auxquelles ils ont parfaitement résisté, nous les avons remis en place dans quinze minutes. Cinq minutes après le pont effectuait sa rotation. Il est donc bien évident que s'il ne s'agissait que du remplacement d'un seul tuyau l'opération exigerait encore moins de temps.

le pont mettrait donc 85/100 de seconde pour descendre de la hauteur de 8 centimètres à laquelle il était élevé.

Il s'ensuit donc que le pont arriverait sur les appuis avec une vitesse de $\frac{0^m,08 \times 100}{85} = 0^m,094$ par seconde, ce qui donnerait un travail mécanique de

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{p}{g} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{685000}{9,81} \times (0,094)^2 = 308^{km},5,$$

ce qui est *insignifiant*, puisque ce travail est égal à celui d'un poids de $308^k,5$, tombant de 1 mètre de hauteur, et, dans ce cas, il faut remarquer encore que les appuis en pierre présentent une surface minimum de 6 mètres cubes.

Si le pont n'était pas retenu par l'eau contenue dans la presse, la hauteur de laquelle il faudrait qu'il tombât pour ne produire qu'un travail de $308^k,5$ serait

$$S = \frac{308^{km},5}{685.000^k}\ 0^m,0004, \text{ soit } 2/5 \text{ de millimètre.}$$

Dans la marche normale, le mouvement du pont à la descente est si uniforme, qu'au moment où il arrive au bas de sa course, l'oreille d'un observateur, appliquée sur les pierres froides de l'appui central, ne perçoit aucun bruit.

Galets servant de guides à la tête du plongeur de rotation. — Lorsque le pont est soulevé, l'axe de rotation, autrement dit le plongeur, est supporté par l'eau sous pression et maintenu dans la direction verticale par les parois de la presse. Mais comme malgré les soins particuliers que l'ouvrier peut apporter dans l'assemblage de ces deux pièces, il existe toujours entre elles un petit jeu, le plongeur doit donc être guidé à sa partie supérieure par un appareil spécial, afin d'éviter que les forces qui agissent

Appareil de compression

Treuil de manœuvre

A Fig. 1. Élévation

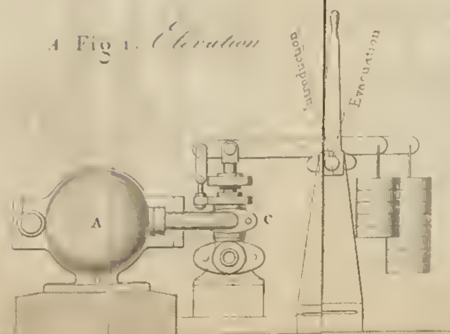
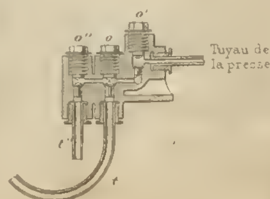
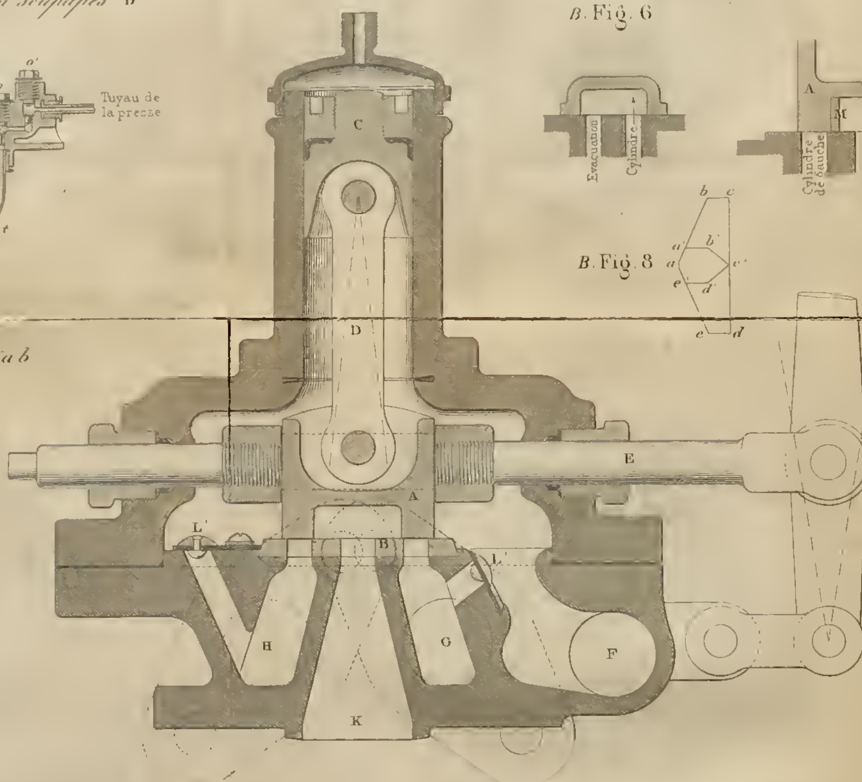


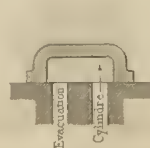
Fig. 3. Détail de la boîte à soupapes D



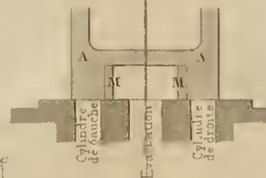
B. Fig. 5. Coupe longitudinale



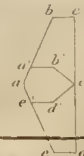
B. Fig. 6



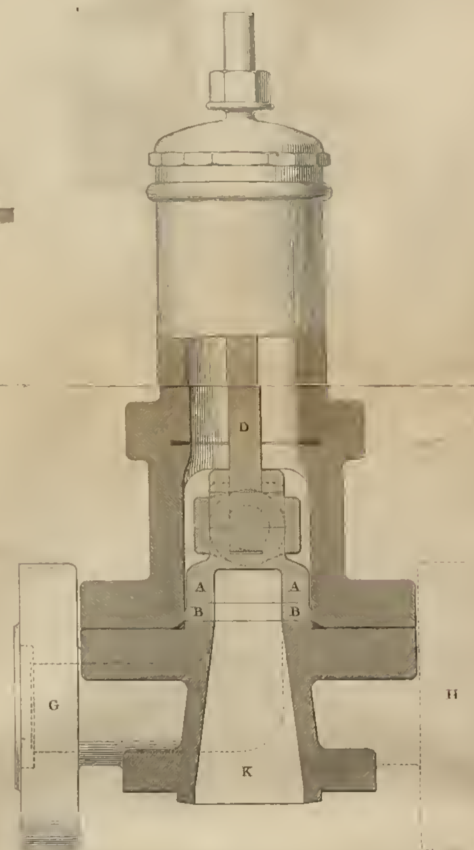
B. Fig. 7



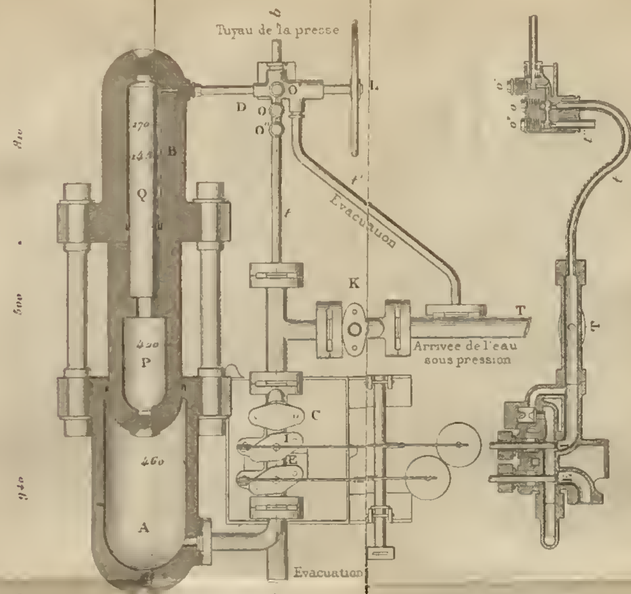
B. Fig. 8



B. Fig. 9. Coupe transversale



A. Fig. 2. Plan et Coupe horizontale



A. Fig. 4. Coupe suivant a b



Fig. 10.

Fig. 11.

B. Fig. 12.

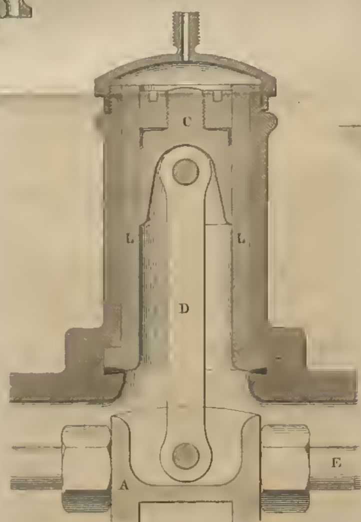


Fig. 13. Projet de galet Élévation

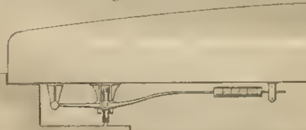
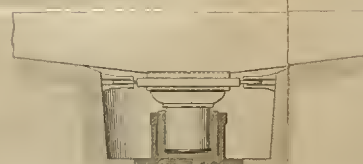




Fig. 14. Plan

Projet de couronne de galet de butée

Fig. 15. Coupe



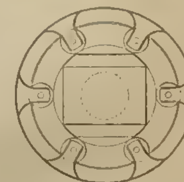
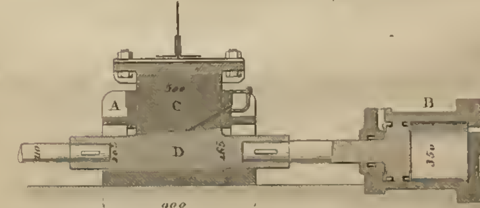
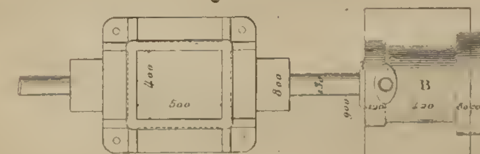


Fig. 16 Plan

C. Fig. 17. Coupe longitudinale



C Fig. 18. Plan

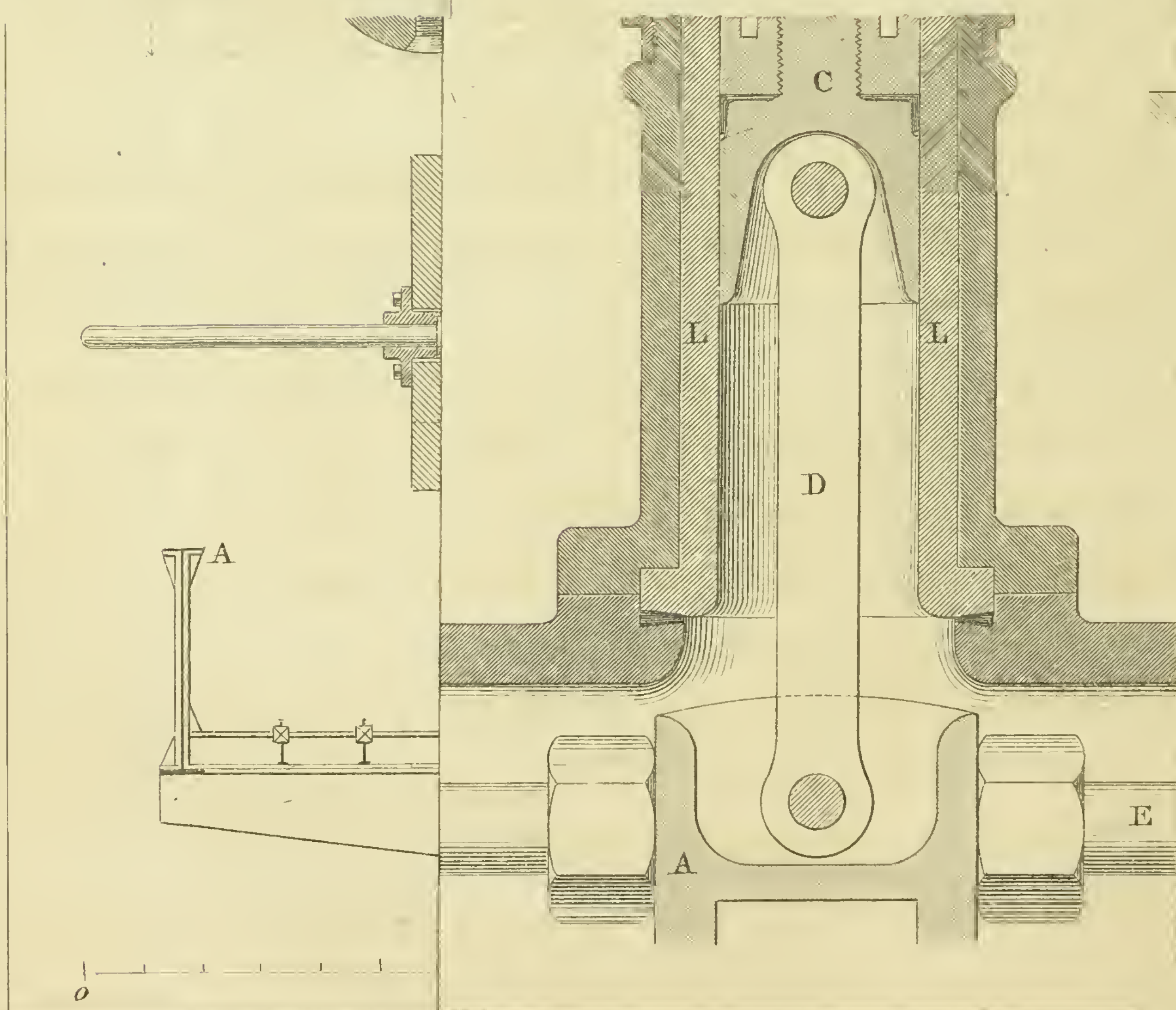


Échelle A de 0m 04 pour 1m

Échelle B de 0m 25 pour 1m

Échelle C de 0m 025 pour 1m

Gravé par E. Pérot



E. Pérot

sur le tablier pendant la rotation ne lui fassent perdre sa direction verticale.

Cet appareil ou guide reçoit également les réactions qui se produisent sur le centre de rotation, lorsque les forces qui donnent le mouvement ne sont pas situées dans le plan passant par le centre de gravité du corps et que leur direction ne passe pas non plus par le centre de percussion, ce qui a lieu dans le cas de notre pont, puisque la couronne sur laquelle agissent les chaînes de rotation est placée au-dessous du tablier, tandis que le plan horizontal, passant par le centre de gravité, se trouve placé sensiblement sur la semelle supérieure des traversines et que le rayon à l'extrémité duquel agissent les forces n'est que de 7 mètres, alors que le centre de percussion se trouve à 736 mètres environ de l'axe de rotation.

Afin de neutraliser ces efforts, la tête du plongeur est munie, dans le sens des appareils de rotation, d'un arc de cercle U de 1 mètre de rayon et de $0^{m},20$ de hauteur, qui s'applique contre deux galets I de $0^{m},50$ de diamètre sur $0^{m},10$ de hauteur (Pl. 13, *fig.* 4 et 5).

Ces galets sont portés par des chapes mobiles logées dans une chaise en fonte horizontale, scellée dans la maçonnerie de la fosse.

Appareil de calage. — Le calage de la culasse s'effectue au moyen de trois appareils $f f' f''$ (Pl. 12, *fig.* 5 et 6) placés un sous chaque ferme, actionnés par la tige d'un piston se mouvant dans un cylindre en fonte g, dans lequel agit l'eau sous pression à 52 atmosphères.

Chaque appareil (Pl. 14, *fig.* 17 et 18) se compose d'une boîte en fonte A, à nervures de $0^{m},900$ de longueur sur $0^{m},800$ de largeur et $0^{m},570$ de hauteur.

L'intérieur évidé a $0^{m},40$ de longueur, $0^{m},50$ de largeur et $0^{m},51$ de hauteur. Dans l'évidement est ajusté un tasseau C, en fonte, actionné par un coin D, en fer qui traverse la partie inférieure de la boîte.

Ce tasseau est raboté à sa partie supérieure et peut se mouvoir de 2 centimètres dans le sens vertical (*).

Le cylindre hydraulique B qui donne le mouvement aux coins a 0m,35 de diamètre et une course de 0m,360.

Les trois coins sont commandés par une tige cylindrique en fer forgé, dont le diamètre varie comme suit :

Entre l'appareil hydraulique et le premier coin.	0m,130
Entre le premier et le deuxième coin.	0m,110
Entre le deuxième et le troisième coin.	0m,075

Galets de la culasse. — Les roues de la culasse sont placées sous les fermes, suivant une ligne droite transversale, parallèle au chevêtre afin que leurs jantes soient toujours en contact avec les rails pendant le mouvement de rotation du pont.

L'obligation de mettre les roues suivant une droite parallèle au chevêtre nécessite deux voies de roulement, une pour la roue de la ferme intermédiaire et l'autre pour les roues des fermes extrêmes.

Si les roues n'étaient pas placées en ligne droite, une seule voie pourrait suffire ; mais lorsqu'on soulèverait le pont, la roue de la ferme intermédiaire la plus éloignée du chevêtre serait seule en contact avec le rail, tandis que les deux autres ne porteraient pas.

Il faut donc absolument que les roues soient en ligne droite, c'est-à-dire avoir deux voies de roulement.

Le rayon de la première voie est de 19m,50, celui de la seconde de 20m,59.

Les roues ont 0m,850 de diamètre extérieur, mesuré en dehors des bourrelets et 0m,800 de diamètre à l'extérieur de la jante. Elles ont une largeur de 0m,150 à la jante et 0m,160 au moyeu.

(*) Les tasseaux actionnés par les coins sont les seuls organes du mécanisme du pont qui travaillent lorsque ce dernier est livré à la circulation de la voie publique.

Ces roues, montées sur tourillons, sont établies dans de forts bâtis en fonte, fixés sous les fermes et peuvent résister chacune à une charge de dix tonnes.

Appareils de rotation. — Les appareils hydrauliques funiculaires, au nombre de deux, destinés à faire effectuer le mouvement de rotation du pont, sont fixés horizontalement sur des massifs en maçonnerie de pierre de taille et disposés comme l'indiquent les *fig.* 5 et 6, Pl. 12.

Chaque appareil se compose d'un cylindre en fonte dans lequel se meut un plongeur de $0^{m},30$ de diamètre et de $2^{m},80$ de course, actionné par l'eau sous la pression de 52 atmosphères.

Le fond de chaque cylindre porte une poulie de $0^{m},60$ de diamètre ; les têtes des plongeurs en reçoivent deux.

Une chaîne de 22 millimètres s'enroule sur les poulies des deux appareils et sur la couronne à gorge ZZ du pont. Chacune des extrémités de cette chaîne est fixée à l'un des cylindres des appareils. Ceux-ci sont conjugués par une chaîne reliant les têtes de leurs plongeurs et passant sur une poulie de renvoi X placée horizontalement dans le plan des axes des cylindres.

En temps calme, la pression à laquelle s'élève l'eau dans les cylindres de rotation est de 27 à 28 atmosphères au départ et de 8 à 9 pendant le mouvement. Par de forts coups de vent de mistral cette pression a varié entre 40 et 45 atmosphères au départ et 30 à 35 pendant le mouvement.

Appareil de compression. — L'eau motrice qui met en mouvement tous les appareils de manutention des docks de Marseille, tels que grues de quai, élévateurs, moulins, etc., ne travaille qu'à une pression normale de 52 atmosphères et si nous avions voulu l'employer directement pour soulever le pont, il aurait fallu donner à la presse hydraulique un diamètre de $1^{m},50$, soit une section de 17.500 centimètres carrés. L'industrie métallurgique n'ayant ja-

mais construit de presses d'un aussi grand diamètre, nous n'avons pas cru devoir en tenter l'essai (*) ; nous avons étudié un appareil nous permettant de transformer la pression de 52 atmosphère en une pression de 270.

Cet appareil se compose de deux cylindres A et B, en fonte, de diamètres différents, placés horizontalement dans le prolongement l'un de l'autre et reliés entre eux par des tirants en fer forgé (Pl. 14, *fig.* 1, 2, 3 et 4).

Les deux plongeurs ne forment qu'une seule pièce et sont animés d'un mouvement rectiligne horizontal. La partie de cette pièce qui plonge dans le petit cylindre est en fer forgé.

Les sections des plongeurs sont en raison inverse des pressions auxquelles travaillent les cylindres.

Le grand plongeur a $0^m,420$ de diamètre, le petit $0^m,145$; la course est de $0^m,500$.

L'appareil comporte une boîte pour la distribution de l'eau au grand cylindre et une boîte à soupape sur le tuyautage, reliant le petit cylindre à la presse du pont.

Le petit cylindre B est constamment en communication avec l'eau sous pression, tant que la pression de l'eau contenue à son intérieur ne dépasse pas la charge normale, attendu que ce cylindre est mis en communication par le tuyau *t* avec le tuyautage général T.

Lorsqu'on ouvre la soupape d'introduction I, l'eau sous pression à 52 atmosphères se rend au cylindre A, agit sur le plongeur P et le met en mouvement, vu que la section transversale de ce dernier est plus grande que celle du plongeur Q.

Dès que le mouvement se produit la pression augmente dans le cylindre B et la soupape O se ferme ; par contre,

(*) Aujourd'hui, fixés par l'expérience, nous n'hésiterions pas à exécuter des corps de presse de ce diamètre. On obtiendrait ainsi un surcroît de stabilité et l'on n'aurait pas besoin d'installer un appareil spécial pour transformer la pression.

la soupape O′ s'ouvre dès que la pression devient égale à celle produite par la charge à soulever.

Pour faire revenir le plongeur P au bas de sa course on ouvre la soupape d'évacuation E, l'eau du cylindre s'échappe, et la pression dans le cylindre B s'équilibre avec celle du tuyautage; la soupape O′ se ferme, la soupape O s'ouvre et le plongeur est refoulé dans le cylindre A. Le cylindre B se remplit en même temps d'eau à 52 atmosphères et se trouve disposé pour une nouvelle opération.

La *fig.* 3 donne le détail de cette boîte à soupapes. Le tuyau t″ et le clapet O″ correspondant à une batterie de pompes mues à bras et destinée à fonctionner lorsque l'eau sous pression des docks fera défaut.

Lorsque après avoir élevé le pont on veut le faire descendre, on manœuvre la soupape d'évacuation à l'aide du levier L, et l'eau contenue dans la presse retourne au tuyautage de l'eau à 52 atmosphères.

Le tuyautage reliant l'appareil de compression à la presse est en fer; il a 42 millimètres de diamètre extérieur, 24 millimètres de diamètre intérieur, soit 9 millimètres d'épaisseur de métal. Les brides des joints sont en fonte.

Tiroirs de distribution de l'appareil de calage et des cylindres de rotation. — La distribution de l'eau sous pression au cylindre de manœuvre des coins et aux appareils de rotation, s'effectue à l'aide d'un tiroir manœuvré par une vis.

Pour l'appareil de manœuvre des coins, l'eau sous pression est mise en communication avec le dessous ou avec le dessus du piston, suivant que l'on veut caler ou décaler la culasse.

Pour les appareils de rotation l'eau sous pression est mise en communication avec le cylindre de droite pour ouvrir la passe et avec le cylindre de gauche pour remettre le pont en place, le second cylindre étant, dans les deux cas, en communication avec le tuyautage d'évacuation.

Ces tiroirs sont analogues à ceux des machines à vapeur; seulement, eu égard à la pression à laquelle ils fonctionnent, ils sont équilibrés par un piston compensateur. Leur disposition est indiquée par les *fig.* 5 et 9, Pl. 14.

La distribution est réglée de manière que l'admission et l'échappement commencent exactement avec la course du piston et se termine avec elle.

C'est du reste de cette manière que sont disposés généralement les tiroirs des appareils mus par l'eau sous pression.

Mais la première fois que nous avons voulu manœuvrer le pont, nous avons remarqué que son mouvement de rotation était irrégulier, et qu'il se produisait dans sa marche des accélérations et des ralentissements sans que le conducteur touchât au tiroir.

Ce fait qui, au premier abord, nous parut anormal, était cependant très-naturel. Pour l'expliquer il suffit de remarquer que le pont en mouvement se trouve placé dans les mêmes conditions qu'un volant horizontal actionné par une force très-supérieure aux résistances passives qui s'opposent au mouvement (*), ce qui donne lieu à l'accélération.

Dans cette marche rapide les appareils de rotation étant conjugués, le pont entraînait le plongeur du cylindre moteur avec une vitesse assez grande pour que l'eau sous pression venant du tiroir ne pût arriver en quantité suffisante pour remplir le vide que le plongeur laissait derrière lui; la force motrice cessant par le fait de ce manque d'eau, le pont ralentissait alors son mouvement jusqu'à l'instant où le plein du cylindre étant rétabli, une nouvelle impulsion lui était communiquée, et ainsi de suite.

(*) Les appareils de rotation ayant été construits assez puissants pour que le pont fût manœuvré par les forts vents de mistral, il en résulte qu'en temps calme et pendant le mouvement, ces mêmes appareils développent une action bien supérieure à toutes les résistances.

En conséquence, on ne pouvait ni activer le mouvement du pont pendant le ralentissement, ni l'arrêter au moment de sa marche accélérée. Dans le premier cas il fallait attendre quelques secondes pour donner au cylindre moteur le temps de se remplir, tandis que dans l'autre cas le mouvement continuait encore après la fermeture du tiroir.

La coquille de ce dernier se soulevait et donnait passage à l'eau en évacuation contenue dans le cylindre. En effet, cette eau qui était élevée à une très-grande pression par suite de la puissance vive emmagasinée dans le pont, agissait au-dessous du tiroir; or, celui-ci étant équilibré par le compensateur, l'effort de bas en haut devenait alors supérieur à la charge exercée par l'eau sous pression au-dessus de la coquille, qui se soulevait et, comme nous l'avons dit, laissait échapper l'eau d'évacuation.

Le pont ne s'arrêtait que lorsque sa puissance vive était entièrement dépensée.

Pour remédier à ces divers inconvénients, nous avons d'abord diminué de moitié la section du piston compensateur à l'aide d'une bague L (*fig.* 12), afin d'empêcher la coquille du tiroir de se soulever (*); ce qui nous a permis d'arrêter ou d'accélérer la marche du pont en un point quelconque de sa course.

Nous avons ensuite réduit les orifices du tiroir et rapporté sur les faces intérieures de la coquille deux bandes MM (*fig.* 7) formant recouvrement à l'évacuation.

Le tiroir, après sa fermeture, n'étant plus susceptible de se soulever par l'effet de l'inertie acquise par le pont pendant son mouvement accéléré, les bandes de recouvrement

---

(*) Les tiroirs des appareils hydrauliques destinés simplement à élever ou à descendre des charges, ne peuvent pas comporter de pistons compensateurs, car la coquille du tiroir (*fig.* 6) se soulèverait toujours à la descente de la charge, attendu que celle-ci exercerait sur l'eau, par l'intermédiaire du plongeur, une pression agissant au-dessous de cette coquille.

M de la coquille, dont le but est de maintenir dans le cylindre en évacuation une contre-pression de quelques atmosphères, faisant fonction de modérateur, ont donné au pont un mouvement très-régulier.

On comprend en effet que si, pour une ouverture donnée du tiroir, le cylindre en évacuation ne peut laisser échapper l'eau que sous une pression déterminée, l'écoulement devient uniforme et, par suite, la marche du pont régulière.

Les orifices de distribution du tiroir, qui affectaient primitivement la forme *abcde* (*fig.* 8), ont été réduits suivant *aa'b'c'd'e'*.

Après ces modifications, les appareils et le pont ont parfaitement fonctionné, et l'on a pu procéder aux essais de réception.

L'appareil de calage, qui ne fonctionne pas dans les mêmes conditions que le pont, n'a exigé aucune modification du tiroir.

Index.—Le conducteur du pont est, comme nous l'avons dit, prévenu par les index, lorsque la culasse est calée ou décalée et lorsque le pont arrive à l'extrémité de sa course de rotation.

L'index de l'appareil de coinçage de la culasse se compose tout simplement d'un contre-poids placé dans la chambre des appareils, mû par le plongeur qui actionne les coins.

Les deux extrémités de la course de ce contre-poids indiquent, l'un le décalage et l'autre le calage.

Quant aux index indiquant l'arrivée du pont (*fig.* 10, Pl. 14) à l'extrémité de sa course, ils se composent d'une tige en fer de 30 millimètres de diamètre actionnée par un ressort à boudin et portant à son extrémité un curseur glissant sur une règle graduée.

La course du curseur est de $0^{m},250$.

D'après ce qui précède, on voit que, pour la rotation, les appareils du pont sont manœuvrés de la même manière

que les machines locomotives ou les machines des bateaux à vapeur ; l'accélération ou le ralentissement s'obtiennent en ouvrant plus ou moins les orifices d'introduction de l'eau dans les cylindres; l'arrêt, en les fermant tout à fait (*) ou en renversant la marche dans le cas où le tablier

---

(*) Supposons qu'il s'agisse d'arrêter le pont en un point quelconque de sa course; on ferme complétement les deux orifices du tiroir de distribution. De cette façon la force motrice cesse d'agir dans celui des cylindres qui faisait mouvoir le pont, et l'évacuation du second cylindre étant également fermée, l'eau contenue dans ce dernier reçoit toute la réaction de la puissance vive emmagasinée dans le pont au moment où on l'arrête.

La masse du pont réduite à la circonférence de la couronne sur laquelle s'enroule la chaîne de rotation est

$$M_1 = \frac{I}{a^2} = \frac{21.950.182}{7 \times 7} = 447{,}963 \qquad (a = 7^{m} \text{ de rayon}).$$

Lorsque le pont effectue sa rotation en trois minutes, la vitesse angulaire est égale à $0^{m},0088$ par seconde ; à la circonférence de la couronne la vitesse est

$$v = 7 \times 0^{m},0088 = 0^{m},0616 \text{ par seconde.}$$

Le travail d'inertie du pont sera donc

$$T = \frac{1}{2} \,.\, M \,.\, V^2 = \frac{1}{2} \times 447.963 \times (0{,}0616)^2 = 849^{km},91.$$

Supposons maintenant que l'arrêt doive être obtenu pendant le temps très-court qu'emploie un point de la chaîne pour parcourir $0^{m},10$ (soit pour une course de $0^{m},025$ du plongeur); l'effort exercé sur la chaîne sera

$$\frac{849{,}91}{0{,}1} = 8.499^{k},1.$$

Or, comme il y a quatre brins de chaîne, l'effort sur le plongeur s'élèvera à $33.996^{k},4$, en ne tenant pas compte des frottements. Le plongeur ayant 706 centimètres carrés de surface, la pression, par centimètre carré, exercée par le plongeur sur l'eau contenue dans le cylindre en évacuation, sera

$$p = \frac{33.996.4}{706} = 48^{k}.$$

arriverait à la fin de sa course avec une trop grande vitesse.

Ce qui distingue les machines à vapeur des machines à eau sous pression, c'est que, dans les premières, la vapeur contenue dans le cylindre ayant la propriété de se détendre, produit un certain travail après la fermeture des orifices d'introduction, tandis que, dans les secondes, le travail cesse complétement dès que les orifices sont fermés, attendu que l'eau étant presque incompressible ne peut se détendre et donner lieu, par suite, à un travail appréciable.

C'est ce qui permet de faire fonctionner les machines et appareils mus par l'eau avec une très-grande précision. D'un autre côté, les machines hydrauliques ne donnent en général qu'une utilisation très-faible ; ce qui provient, en grande partie, de cette même incompressibilité et du rôle que joue l'inertie de la masse incomparablement plus grande, sous un même volume, que celle de la vapeur. Avec cette dernière, on peut négliger l'inertie de la masse et admettre de très-grandes vitesses d'écoulement sans qu'il en résulte des pertes sensiblement appréciables. Pour l'eau, au contraire, l'inertie et surtout le travail du frottement dans les tuyaux peuvent, dans certains cas, être presque aussi élevés que le travail moteur (*).

(*) Prenons, par exemple, deux cylindres contigus A et B (Pl. 12, *fig.* 8), d'égale section ($0^{mq},0100$) reliés à leur partie inférieure par un tuyau portant un robinet servant à la fois à les isoler et à les mettre en communication.

Dans le premier cylindre se trouve un piston placé en m et chargé d'un poids de 10.000 kilog. Dans le second se trouve également un piston placé en n et chargé de 100 kilog.

Admettons que la partie des deux cylindres située au-dessous des pistons soit remplie d'eau et le robinet R fermé. L'eau contenue dans le cylindre A sera sous la pression de 100 kilog. par centimètre carré et celle du cylindre B sous la pression de 1 kilog. pour la même unité de surface.

Si nous ouvrons le robinet R jusqu'au moment où le piston du

Nous avons eu un moment la pensée de relier le tiroir de distribution de l'appareil de rotation aux index qui guident le conducteur, afin qu'en cas de négligence de la part de ce dernier, le pont, en arrivant à l'extrémité de sa course, fermât lui-même les orifices d'introduction de l'eau.

Mais la force nécessaire pour la mise en marche du pont au départ étant, à cause de la résistance d'inertie, environ

---

cylindre A sera passé de m en m', l'eau de ce cylindre passera en B avec une vitesse (abstraction faite des frottements des pistons) égale à

$$v = \sqrt{2 . g . h} = \sqrt{2 \times 9{,}81 \times (100^{k} - 1^{k})\, 10^{m}} = 139^{m},37$$

par seconde et élèvera la charge de 100 kilog. de n en n' avec une très-grande vitesse et dans le même temps que le poids de 10.000 kilog. aura mis pour descendre de m en m'.

Si l'espace parcouru par les pistons est de 5 mètres par exemple, le travail moteur sera

$$10.000^{k} \times 5^{m} = 50.000^{km},$$

tandis que l'effet utile produit ne s'élèvera qu'à

$100^{k} \times 5^{m} = 500^{km}$, soit 1 p. 100 seulement du travail moteur.

Si, par contre, nous avions chargé le piston du cylindre B d'un poids de 9.000 kilog., la vitesse d'écoulement de l'eau n'eût été que de

$$v = \sqrt{2 \times 9{,}81 \times (100 - 90)\, 10} = 44^{m},29,$$

c'est-à-dire trois fois moindre que dans le premier cas; mais le travail utile se serait élevé à 45.000 kilomètres; il eût donc été quatre-vingt-dix fois plus grand.

Du reste, l'utilisation des machines à colonne d'eau exécutées tant en Allemagne qu'en France démontre très-bien que l'accroissement de l'effet utile ne s'obtient qu'au détriment de la vitesse. Ainsi les machines d'Huelgoat, dont la vitesse est de $0^{m},211$ par seconde, n'utilisent que les 66 p. 100 du travail moteur, tandis que les machines de Varangeville, qui n'ont que $0^{m},133$ de vitesse, utilisent les 75 p. 100 du travail moteur.

Mais il faut remarquer que lorsqu'on a un travail utile considérable à effectuer, la nécessité de donner de faibles vitesses aux organes des appareils oblige à en augmenter le nombre, d'où il résulte une augmentation considérable pour les frais de premier établissement.

trois fois plus grande que pendant le mouvement, la vitesse s'accélère à tel point que, si le conducteur abandonnait la manœuvre après le départ, le pont, en arrivant à bout de course, heurterait les butées latérales avec beaucoup trop de violence.

Il est vrai que, dans cette prévision, nous aurions pu faire usage de butées hydrauliques placées l'une sur la volée et l'autre sur la culasse; butées capables d'absorber la puissance vive emmagasinée dans le pont au moment du choc (*).

Mais si ces butées avaient été calculées pour le maximum de vitesse avec laquelle le pont pouvait les choquer, il en résulterait que lorsque ce dernier arriverait sur elles avec une vitesse moindre, il ne pourrait vaincre leur résistance et, par conséquent, se remettre en place.

Lorsque deux wagons animés d'une certaine vitesse se heurtent, le travail qui s'emmagasine dans les ressorts des tampons au moment du choc réagit et repousse les deux wagons à une certaine distance du point de la voie sur lequel le choc s'est effectué, ce qui n'a aucun inconvénient. Le pont, au contraire, doit rester dans une position fixe déterminée par la direction des rails de la voie ferrée.

Nous devons dire aussi que les butées hydrauliques sont loin d'être aussi efficaces que les butées à ressort. Dans ces dernières, la réaction, nulle au moment où le pont rencontre la butée, va en augmentant, tandis que la vitesse du pont, qui est un maximum à l'instant du choc, diminue

---

(*) La volée considérée isolément à son centre de gravité à $16^{m},59$ de l'axe de rotation. Son moment d'inertie par rapport à cet axe est

$$I = 13.003.333^{km}.$$

Son centre de percussion se trouve à $25^{m},48$ de l'axe de rotation.

La culasse présente un moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation égal à 8.946.829 kilog. Son centre de gravité est à $13^{m},47$ et son centre de percussion à $17^{m},97$ de cet axe.

graduellement jusqu'à ce qu'elle devienne égale à zéro. Le choc est donc parfaitement élastique.

Dans les butées hydrauliques, au contraire, la réaction se développe, pour ainsi dire, instantanément, vu le peu de compressibilité de l'eau, et cette contre-pression agit tant que le pont n'est pas au repos. Il en résulte donc un choc non élastique qui fatigue certainement le tablier.

Malgré le peu de temps que met le pont pour effectuer sa rotation, le conducteur le fait arriver sur ses butées latérales sans choc ni secousse. Une mauvaise manœuvre exécutée par défaut d'attention est peu admissible, la durée d'une rotation n'étant que de trois minutes environ.

Équilibre du pont. — La voie charretière est un peu plus lourde que la voie ferrée ; de plus, elle porte l'encorbellement destiné à donner passage aux piétons, ce qui place le centre de gravité du tablier en dehors de l'axe de la ferme intermédiaire sous laquelle se trouve la presse.

Il a donc fallu, pour ramener le centre de gravité sur l'axe de la ferme intermédiaire, ajouter un lest en fonte de 35 tonnes réparties sur toute la longueur de la semelle de la ferme extrême longeant la voie ferrée.

La culasse, étant plus courte que la volée, a reçu également un lest en fonte de 127.540 kilogrammes logé entre les traversines sur une longueur de $9^{m},80$ à partir de son extrémité.

La répartition des poids sur le tablier a une très-grande influence sur la résistance que le pont oppose au mouvement. Mais cette répartition peut être faite d'une façon très-exacte, attendu qu'on soulève le tablier au moyen de la presse, comme on soulève les plateaux d'une balance, ce qui permet d'ajouter ou de retrancher du lest sur les différentes parties, jusqu'à ce que l'équilibre soit bien établi.

Lors des épreuves, il n'a fallu que cinq hommes pous-

sant à bras sur l'extrémité de la volée pour mettre le pont en mouvement, et cependant le poids de ce dernier (700 tonnes) est équivalent à celui d'un train de marchandises composé de 60 wagons, poids mort et machines compris.

Épreuves. — Le pont, tel qu'il vient d'être décrit, a satisfait complétement à toutes les épreuves qu'il a subies les 21, 26 janvier et 4 février 1874, en conformité des prescriptions renfermées dans les circulaires ministérielles des 26 février 1858 et 15 juin 1859. Non-seulement il a toujours bien fonctionné, mais, de plus, aujourd'hui, et grâce à l'habitude de la manœuvre acquise par le conducteur, celui-ci ne met plus que trois minutes pour l'ouvrir, au lieu de cinq qui étaient nécessaires à cette opération à l'époque des essais.

Au moment où nous rédigeons cette note, le pont fonctionne depuis plus de six mois, et nous n'avons pas eu à toucher une seule fois aux garnitures des appareils qui sont parfaitement étanches.

Pompes mues à bras. — Il nous a paru indispensable d'avoir une pompe double, mue à bras, pour fournir l'eau à 270 atmosphères, nécessaire pour soulever le pont et l'eau à 52 atmosphères pour décaler et faire tourner ce dernier, lorsque la machine des docks ne sera pas en service.

Cette machine fonctionne régulièrement tous les jours ouvriers et même les dimanches et jours fériés; mais comme il peut se présenter des temps d'arrêt, il a fallu se réserver la faculté de pouvoir faire tourner le pont sans le secours de l'eau sous pression des docks.

L'appareil disposé à cet effet se compose d'une boîte en bronze avec deux corps de pompe, l'un sous la pression de 270 atmosphères, l'autre sous celle de 52. Ces deux pompes sont mues au moyen d'excentriques ajustées sur un arbre portant deux manivelles de $0^m,50$ de rayon et $1^m,50$ de longueur.

Les plongeurs des pompes ont les diamètres suivants :

Pompe à 52 atmosphères	....	0m,030
— à 270 —	....	0m,070

Un distributeur portant deux soupapes manœuvrées à la main met en communication la presse à bras avec les appareils de manœuvre.

Fermes, tablier et chevêtre. — L'ouvrage en tôlerie n'offre aucune particularité qui mérite d'être signalée. Les fermes, qui ont la forme d'un solide d'égale résistance, sont à âme treillisée, sauf les parties correspondantes aux appuis du chevêtre qui sont à âme pleine et renforcées par de nombreux montants verticaux, afin de résister aux grands efforts de compression qui ont lieu sur ce point pendant le soulèvement et la rotation du pont. Les traversines en tôles et cornières s'appuient sur la semelle inférieure des fermes et sont reliées à l'âme de ces dernières au moyen de forts goussets en tôle et de cornières verticales qui vont d'une semelle à l'autre.

Le chevêtre qui, pendant le soulèvement et la rotation, se trouve encastré à son milieu sur la tête du plongeur de la presse, a été calculé pour supporter la charge totale du pont et pour résister en même temps à l'effort d'écrasement qui a lieu sur ce point.

La forme du chevêtre est celle d'un solide creux d'égale résistance, à section rectangulaire ; il est formé par deux fortes semelles reliées par trois âmes verticales qui divisent l'intérieur en deux parties formant deux tubes horizontaux dans lesquels un homme peut pénétrer pour les gratter et les peindre au besoin.

Modifications projetées. — Si nous avions aujourd'hui un pont analogue à construire, donnant passage à une voie ferrée principale, lequel, au lieu d'être établi sur une passe de bassins de raboub, ne nécessitant par jour que sept ou huit opérations de manœuvre au maximum, serait placé

sur un point très-fréquenté, comme la passe de la traverse de la Joliette, par exemple, donnant passage à un grand nombre de chattes et de navires, nous l'établirions comme suit :

1° La voie ferrée simple serait remplacée par une voie double, afin de faciliter la circulation des trains et d'éviter les collisions (Pl. 14, *fig.* 11).

2° Le trottoir unique pour piétons, placé en encorbellement sur la ferme extrême de la voie charretière, serait remplacé par deux trottoirs placés à l'intérieur de la voie charretière, contre les fermes.

Ces deux modifications porteraient à 18 mètres la largeur totale du tablier, mesuré en dehors des semelles. De cette façon le pont serait plus facile à équilibrer dans le sens transversal et aurait ses deux côtés symétriques par rapport à l'axe.

3° Nous supprimerions les appareils de calage, tout en conservant les trois roues de la culasse et leur charge de 15 tonnes.

Les roues seraient établies dans des chaises ou supports à coulisse verticale et actionnées par un contre-poids qui les maintiendrait constamment appliquées sur les rails de la voie de roulement, tout en permettant à la culasse de s'élever en même temps que le chevêtre pour se dégager des appuis (*fig.* 13 et 14). La course des coulisses des supports dans lesquels se trouvent engagées les roues, serait par suite égale, à la hauteur à laquelle la presse soulèverait le pont, augmentée du jeu que l'on veut avoir entre le dessus des appuis et le dessous de la culasse pour la mise en marche, et diminuée de la flèche que prendra la culasse.

4° Le diamètre de la presse serait porté de $0^{m},58$ à $1^{m},50$, afin de pouvoir l'actionner directement par l'eau sous pression des docks, laquelle est à 52 atmosphères.

On supprimerait ainsi l'appareil de compression, et la

surface d'appui du pont sur le plongeur serait près de sept fois plus grande.

La partie supérieure de la tête du plongeur, au lieu de présenter la forme d'un couteau de balance, serait parfaitement plane, attendu que la disposition donnée aux roues de la culasse permettra au pont de se trouver, pendant son élévation, à chaque point de sa course, dans un plan horizontal.

La volée et la culasse se dégageraient de leurs appuis en même temps.

Les galets de butée qui, actuellement, agissent sur la tête du piston, seraient placés plus haut sur le sommier, afin d'être plus rapprochés du plan dans lequel agissent les chaînes des appareils (*fig.* 15 et 16). Cette disposition aurait, en outre, l'avantage de transmettre les efforts provenant des vibrations ou des chocs du tablier à la couronne de galets au lieu de les faire agir sur la presse.

Les galets seraient disposés sur tout le tour du sommier et supportés par une pièce circulaire scellée dans le mur.

Avec ces modifications il serait possible d'établir, dans des conditions parfaitement sûres, des ponts tournants de ce système, pesant 2.500 tonnes, c'est-à-dire aussi lourds qu'une des grandes travées fixes du fameux pont de Britannia, exécuté par Robert Stephenson sur le détroit de Menai. Ces ponts n'exigeraient pas plus de trois minutes pour leur manœuvre de rotation.

Modification des fermes. — Les ingénieurs qui, les premiers, ont construit les poutres à âme treillisée, en portant le métal provenant des parties évidées de l'âme sur les semelles séparées par une grande hauteur, ont eu évidemment pour but de diminuer le poids de ces poutres, tout en augmentant leur résistance.

Ce système de construction, que nous avons suivi pour les grandes fermes du pont, ne nous a pas permis de réduire d'une manière sensible le poids de ces pièces ; il a

donné lieu, par contre, à beaucoup de sujétion dans le travail de la main d'œuvre, à cause de l'inégalité de longueur et d'épaisseur que présentent les barres composant le treillis, ainsi qu'à cause des difficultés que nous avons rencontrées dans leur assemblage.

Ces barres doivent, en effet, porter parfaitement tant sur leurs points d'intersection que sur les semelles des fermes, a leurs abouts, afin que l'ensemble puisse bien résister aux efforts inégaux que ces diverses pièces ont à supporter.

Nous croyons donc qu'il serait préférable d'avoir des fermes à âme pleine dont l'exécution est plus facile et la résistance plus certaine.

Détails complémentaires.

Pour compléter les renseignements qui précèdent, nous donnons ci-dessous le poids des diverses pièces entrant dans la construction du pont, ainsi que le prix de revient de cet ouvrage.

Poids du pont.

NATURE DE L'OUVRAGE.	POIDS partiels.	POIDS totaux.
Fermes et tablier.	kilog.	kilog.
Fermes complètes	217.500	
Tablier, tôles cornières, rails, parquet	166.200	
Bois (chêne, sapin, peuplier)	80.000	
Garde-corps	2.400	
Patins	1.500	
Chevêtre	31.600	
Total	....	499.200
Roues et rails.		
Roues et supports	1.990	
Rails pour lesdits	4.710	
Total	....	6.700
Lest en fonte.		
Lest pour équilibre transversal	35.000	
Id. longitudinal	127.540	
Lest pour charge des roues	15.000	
Total	....	177.540
Presse hydraulique.		
Chaise en fonte	9.415	
Clavettes, boulons, cric	1.641	
Cylindre de la presse	2.834	
Plongeur	3.874	
Sommiers	6.816	
Galets de butée et support	4.420	
Total	....	29.000
Appareil de calage.		
Appareil hydraulique	1.300	
Coins, chaises, arbre	6.500	
Total	....	7.800
Appareils de rotation.		
Cylindres, plongeurs, guides, etc.	9.000	
Poulie pour conjuguer les plongeurs	970	
Chaînes	800	
Couronne fixée sous le tablier	4.030	
Total	....	14.800
Mécanisme.		
Appareil de compression	2.420	
Boîtes à soupapes, clapets, etc.	900	
Tiroirs	300	
Pompes mues à bras	1.000	
Tuyautage	1.500	
Divers	840	
Total	....	6.960
Poids total du pont	....	742.000

PRIX DU PONT.

Le prix de revient du pont tournant, non compris les travaux de maçonnerie qui étaient à la charge de l'État, ni les voies ferrées aux abords et le tuyautage reliant le pont à la conduite générale des docks, se décompose comme suit :

	fr.
Prix fixé à forfait par le marché.	305.000,00
Plus-value pour modifications.	19.238,00
Fournitures diverses non prévues par le marché. .	7.671,08
Frais de surveillance, d'épreuves, etc.	10.000,00
Peinture.	5.000,00
Total.	346.909,08

Soit. . . . . 350.000 francs.

Les prix qui ont servi de base pour le forfait sont les suivants :

Pont proprement dit, tôles, cornières, etc., le kilog.	0f,483
Lest en fonte, le kilog.	0f,172
Mécanismes, le kilog..	0f,8585

Marseille, le 1er juin 1874.

LÉGENDE DES PLANCHES.

PLANCHE 12, *fig.* 1, 5 et 6, et PLANCHE 13, *fig.* 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11 et 12.

A, A', A''	Fermes.
B	Chevêtre.
C	Sommier du chevêtre.
D	Plongeur de la presse.
E	Cylindre de la presse, en fer forgé.
F	Fond mobile de la presse.
G	Chaise en fonte recevant la presse.
H	Clavettes.
I	Galets de butée avec support.

K Cric pour la sortie de la presse en cas de réparation.
L Appareil de sûreté.
b Appareil de compression.
c Boîte de distribution pour l'appareil de compression.
d Boîte à soupape.
e Tiroir de distribution pour l'appareil de calage.
f, *f'*, *f''* Coins de calage de la culasse.
g Appareil hydraulique pour la manœuvre des dits.
h Tiroir de distribution pour l'appareil de calage.
k Pompes mues à bras.
m, *m'* Manivelles.
n Distributeur pour les dites.
p Tuyau d'arrivée de l'eau sous pression.
q Tuyau d'évacuation.
r Tuyautage de la presse centrale.
s — de l'appareil de rotation.
t — de l'appareil de calage.
V, V' Cylindre de rotation.
X Poulie pour conjuguer les dits.
Y, Y', Y'' Galets.
ZZ Couronne à gorge.

PLANCHE 13, *fig.* 13 e 14.

A Soupape de sûreté (*a*, tige).
B Tuyau d'arrivée de l'eau sous pression.
C Corps de presse.
D Passage de l'eau communiquant à la presse.
E Passage de l'eau communiquant avec le dessus de la soupape de sûreté.
F Robinet de purge.

PLANCHE 14, *fig.* 1, 2, 3 et 4.

A Cylindre moteur, à 52 atmosphères.
B — de compression, à 270 atmosphères.
P Plongeur du cylindre A.
Q — — B.
C Boîte de distribution.
  I Orifice d'introduction.
  E — d'évacuation.
T Tuyautage d'eau sous pression.
t Tuyau communiquant avec la boîte à soupapes du cylindre de compression.
D Boîtes à soupapes.
  O Soupape séparant le tuyau *t* du cylindre B, s'ouvrant à 52 atmosphères.
  O' Soupape du tuyau de la presse, s'ouvrant à 270 atmosphères.
  O'' Soupape pour le cas de l'emploi des pompes mues à bras.
K Clapet d'arrêt.

PLANCHE 14, *fig.* 5, 6, 7, 8, 9 et 12.

A Tiroir.
B Plaque à orifices du tiroir.
C Piston compensateur.
D Bielle du piston compensateur.
E Tige de manœuvre du tiroir.
F Arrivée de l'eau sous pression.
G Introduction au cylindre de droite.
H Introduction au cylindre de gauche.
K Évacuation.
L, L' Soupapes à choc.

N° 19

MASTIC A BASE MÉTALLIQUE

POUR LA RESTAURATION DES OUVRAGES EN PIERRE DE TAILLE.

NOTE

Par M. VAUDREY, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

En 1865, le sieur Fontenelle, sculpteur, demeurant à Paris, boulevard Montparnasse, n° 81, a proposé au service des ponts de Paris un mastic breveté composé d'une poudre à base métallique se gâchant avec une liqueur spéciale. Une application de ce mastic a été faite la même année à la restauration de la corniche de la tête amont de l'arche rive gauche de la partie du pont Neuf sur le grand bras de la Seine à Paris. Le résultat obtenu a été satisfaisant, mais la dépense a été relativement élevée ; la restauration d'une longueur de corniche de 13^{m},30 a coûté, savoir :

	francs.
Fourniture et emploi du mastic.	2.369,55
Frais d'échafaudage.	190,53
Total.	2.560,08

Les dégradations de la corniche du pont Neuf continuant à augmenter, il devenait urgent de pourvoir à une restauration sur une grande échelle. Le brevet du mastic Fontenelle était tombé dans le domaine public; plusieurs marchands à Paris vendaient la poudre et la liqueur nécessaires pour faire ce mastic à raison de 0^{f},80 le kilogramme. Ce prix étant encore élevé, nous hésitions à employer le mastic Fontenelle, lorsque M. Warest, conducteur des ponts et

chaussées attaché à l'entretien des ponts de Paris, nous a proposé de faire des essais pour arriver à la fabrication du mastic dont il s'agit. Nous avons mis M. Warest en relation avec le laboratoire de l'École des ponts et chaussées et, avec les conseils de M. l'ingénieur Léon Durand-Claye, M. Warest est arrivé à des résultats complétement satisfaisants. Nous allons exposer les modes de préparation et d'emploi de ce mastic.

FABRICATION DE LA POUDRE.

La poudre se compose de deux parties en poids d'oxyde de zinc dit gris de pierre, de deux parties de calcaire très-dur écrasé et passé au tamis de $0^{m},0015$ et d'une partie de grès écrasé.

Pour assurer le mélange de ces matières, il est essentiel de les passer au tamis. On peut teinter la poudre au moyen de couleurs telles que ocre jaune, ocre rouge, noir de charbon, mais le poids de la matière colorante employée doit venir en déduction de celui du grès.

FABRICATION DE LA LIQUEUR.

Pour préparer la liqueur on fait dissoudre jusqu'au refus des rognures de zinc neuf dans de l'acide chlorhydrique du commerce; on ajoute à cette dissolution du chlorhydrate d'ammoniaque dans la proportion du sixième du poids de zinc employé, on laisse reposer et l'on décante. On prend trois parties en volume de ce liquide et deux parties d'eau pour former la liqueur.

Il faut introduire petit à petit les rognures de zinc dans l'acide afin d'éviter une effervescence trop grande produite par les dégagements d'hydrogène; il convient en outre d'opérer à l'air libre et dans des vases plats.

EMPLOI DU MASTIC.

La pierre à restaurer doit être mise à vif à la pioche ou

au poinçon et assez finement piquée. Elle doit être brossée énergiquement pour enlever tout détritus.

On gâche le mastic serré et par petites parties (il faut $0^{lit},30$ de liqueur pour gâcher 1 kilogr. de poudre) et on l'emploie à la manière du ciment; on mouille préalablement à l'application avec de la liqueur la surface de la pierre au moyen d'un pinceau. La prise commence au bout de vingt minutes. On ne doit plus alors continuer l'application, mais on doit continuer à travailler les parties appliquées en les serrant avec la truelle.

Lorsque l'épaisseur de l'enduit à rapporter dépasse 3 centimètres, on exécute un rocaillage avec le mastic et des éclats de pierre dure trempés dans la liqueur; on ne laisse alors qu'une épaisseur de $0^{m},005$ pour l'enduit. On efface les tracés du lissage à la truelle en passant la surface au grès; cette opération peut être faite au bout de huit heures. On peut également boucharder la surface et relever des ciselures.

RÉSISTANCE DU MASTIC.

Des échantillons de mastic soumis à la traction, quarante-huit heures après leur fabrication, ne se sont rompus que sous un effort de $10^{k},27$ par centimètre carré de section.

Après quatre mois, la limite de résistance par centimètre carré est de 26 kilogr. à la traction et de 278 kilogr. à l'écrasement.

PRIX DE REVIENT.

Le mastic préparé par le conducteur Warest est à notre avis supérieur à celui que fournissait M. Fontenelle et dont ce dernier n'a jamais fait connaître la composition.

Quant aux prix de revient, ils se sont élevés à $0^{f},2366$ par kilogr. de poudre et $0^{f},3518$ par litre de liqueur. Nous avons fait restaurer cette année la corniche de la tête amont du grand pont Neuf sur cinq piles et sur cinq arches, ce qui

représente une longueur développée totale de 105m,97 de corniche. Au-dessus des piles le parement a dû être repris complétement; au-dessus des arches des parties bonnes ont été conservées. On a réparé en même temps les parties dégradées des tympans et des tours rondes. La dépense s'est élevée à savoir :

		francs.
Piochage des parements, 57j,8 de tailleurs de pierre à 6f,24		360,67
Préparation et emploi du mastic.	276j,3 de cimentiers à 6f,24	1.724,11
	96j,1 de manœuvres à 3f,87	371,91
Frais de marine (batelet de sauvetage)		363,55
Échafaudages		443,31
Poudre et liqueur		1.760,55
	Total	5.024,10

On a employé pour cette réparation 5.082 kilogr. de poudre ayant coûté, savoir :

	francs.
2.030 kilog. d'oxyde de zinc à 0f,49	994,70
Transport et écrasement du calcaire, 33j,7 de manœuvres à 3f,87	130,42
Écrasement du grès, 2j,20 de manœuvres à 3f,87	8,51
98 kilog. d'ocre jaune à 0f,70	68,60
Total	1.202,23

On a employé 1.587 litres de liqueur qui ont coûté, savoir :

	francs.
1.665 kilog. d'acide chlorhydrique à 0f,12	199,80
55 kilog. de chlorhydrate d'ammoniaque à 2f,50	137,50
514 kilog. de zinc à 0,43	221,02
Total	558,32

La restauration d'une partie de la corniche du pont Neuf avec le mastic à base métallique est à tous égards très-satisfaisante; le mérite de cette application revient à M. le conducteur Warest.

Paris, le 8 décembre 1874.

N° 20

LA LOIRE A ORLÉANS.

RÉGIMES D'HIVER ET D'ÉTÉ.

DISCUSSION DES OBSERVATIONS HYDROMÉTRIQUES DEPUIS 1830
ET PLUVIOMÉTRIQUES DEPUIS 1862.

MÉMOIRE

Par M. DEGLAUDE, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Dans une première étude sur la Loire, publiée le 6 août 1872, j'ai considéré ses crues extraordinaires d'inondations, et je me suis attaché à démontrer qu'en présence de l'incertitude des moyens proposés pour les contenir, on avait pris le meilleur parti en se contentant d'en atténuer les dommages à l'aide des déversoirs dont les emplacements et les dispositions sont définitivement arrêtés aujourd'hui.

Dans un second travail, publié le 12 février 1873, j'ai présenté une classification analytique de toutes les crues constatées, qui permet d'en annoncer aujourd'hui la hauteur à Orléans, Saumur et Nantes, avec un degré d'exactitude presque suffisant pour les besoins de la pratique.

Et, à ce propos, je m'empresse de reconnaître que les tableaux de même nature déjà publiés en 1857 par M. l'inspecteur général Comoy, mais surtout les utiles indications de sa grande expérience, m'ont été d'un précieux secours dans l'accomplissement de cette tâche laborieuse.

suis proposé, pour dernière tâche, de com-

pléter mes recherches sur les eaux de la Loire par la discussion des faits hydrométriques observés à Orléans depuis 1830, et des faits pluviométriques recueillis depuis 1862 dans la région du bassin dont les eaux passent à Orléans.

C'est à Orléans que j'ai étudié les changements d'état du fleuve, parce qu'à Orléans les variations de la Loire sont uniquement influencées par les eaux de l'Allier et de la Loire supérieure au bec d'Allier; autrement dit par les pluies que reçoivent les bassins partiels de ces deux grands affluents.

Et si ma discussion ne remonte qu'à l'année 1862, en ce qui concerne la pluie, c'est que l'ingénieur en chef de la 3e section de la Loire n'a été chargé d'en centraliser les observations qu'à dater de ladite année, en vertu d'une décision ministérielle du 27 décembre 1862.

Je ne présente ici qu'un simple abrégé de cette discussion.

Le lecteur qui y prendra quelque intérêt, en trouvera les détails et les développements dans mon mémoire.

Mon but, en entreprenant ce travail, était principalement d'apprécier l'influence du régime d'hiver sur le régime d'été de la Loire; mais j'ai été entraîné par la discussion des faits, tant hydrométriques que pluviométriques, à traiter subsidiairement la question de l'homogénéité du climat dans la vaste étendue du bassin entier de ce grand fleuve, puis celle de l'emploi actuel des observations pluviométriques au pronostic des crues.

En ce qui concerne la première et principale question, je pressentais, dès le début de mes recherches, que la loi établie par M. Dausse pour le bassin de la Seine, loi confirmée par les observations de M. Belgrand, pouvait bien n'être pas vraie pour le bassin de la Loire; que, dans celui-ci, les pluies d'été pouvant au contraire être certaines fois profitables aux cours d'eau, il devenait dès lors impos-

sible d'annoncer avec quelque certitude, plusieurs mois à l'avance, une forte sécheresse de la Loire, comme M. Belgrand l'a fait avec une si remarquable précision pour les sécheresses de la Seine en 1870 et 1874.

C'est qu'il existe trop de dissemblances entre ces deux grands bassins hydrographiques.

La Seine et ses affluents sont, à quelques exceptions près, des cours d'eau tranquilles, alimentés par des sources rares et puissantes.

Les pluies de la saison froide emmagasinent, dans les couches profondes de son sol généralement perméable, des masses d'eau considérables, que la sécheresse d'un seul été ne suffit pas à épuiser, quelque forte qu'elle soit.

Au contraire, le caractère torrentiel éclate dans tous les affluents de la Loire, autres que la Maine, notamment dans les allures de l'Allier et de la Haute-Loire.

Les versants montagneux de ces deux affluents principaux y dominent si bien, qu'ils occupent les $\frac{5}{7}$ (*) de la superficie totale du bassin; et ces versants, abruptes en grande partie, sont partout granitiques ou volcaniques e conséquemment imperméables.

Comme cette imperméabilité n'est pas absolue, l'eau des pluies, absorbée par les débris arénacés de la surface, pénètre dans les innombrables petites fissures de la roche, et reparaît en une multitude de petites sources disséminées sur le flanc des coteaux aussi bien qu'au fond des vallées.

Mais ces sources se réduisent l'été à de si minces filets d'eau, qu'on incline à ne pas leur attribuer, malgré leur grand nombre, une influence prédominante sur le régime d'été du fleuve.

D'autre part, si, sur les versants perméables, à pentes

(*) Mémoire du 23 novembre 1857 de M. Comoy sur les crues de la Loire, exposant les règles pratiques pour annoncer la hauteur et l'époque de leur maximum.

douces, et qui s'échauffent profondément aux ardeurs de l'été, les pluies sont presque entièrement enlevées par l'évaporation, il est à croire qu'elles ne sont pas aussi complétement perdues pour les cours d'eau des versants imperméables et à pentes abruptes.

La discussion des faits hydrométriques et pluviométriques établit en effet la réalité de l'influence des pluies d'été sur les eaux de la Loire, influence capable de contrebalancer certaines fois les sécheresses de l'hiver.

Les faits hydrométriques consistent uniquement dans les hauteurs diurnes de la Loire à Orléans, dont j'ai présenté le relevé sous la forme suivante, qui m'a paru la plus propre à définir le mieux possible le régime particulier de chaque saison.

Ainsi, pour la saison froide, le relevé donne :

La hauteur moyenne du fleuve;

Le nombre de jours pendant lesquels il s'est tenu :

A zéro et au-dessus;
A $0^m,50$ et au-dessus;
A $1^m,00$ et au-dessus;
A $1^m,50$ et au-dessus;
A $2^m,00$ et au-dessus;

Et enfin les crues de la saison froide supérieures à 2 mèt.

Pour la saison chaude, il présente :

La hauteur moyenne du fleuve;

Sa hauteur minimum et la date de ce minimum;

Le nombre de jours pendant lesquels son niveau s'est tenu :

A la cote $0^m,50$ de l'échelle et au-dessous;
A $0^m,25$ et au-dessous;
A zéro et au-dessous;
A $-0^m,25$ et au-dessous;
A $-0^m,50$ et au-dessous.

Le régime, ainsi résumé, de la saison chaude est mis en

regard, sur chaque ligne horizontale du tableau, du régime de la saison froide qui la précède.

La Loire n'est pas alimentée, comme la Seine, par des sources puissantes et peu nombreuses.

Pour la Loire, on manque donc absolument des moyens de comparaison plus sûrs qu'aurait offerts la connaissance des débits. Comme les jaugeages, en raison de la largeur démesurée et de l'irrégularité du fond de son lit, exigent des opérations longues et difficiles, on n'en possède qu'un nombre fort limité, dont les résultats sont d'ailleurs assez peu concordants.

Il importe de dire en outre que l'écoulement des eaux d'étiage se fait en partie souterrainement, dans l'épaisse couche de sable qui forme le fond du lit, et que cette partie variable du débit d'étiage restera conséquemment toujours inconnue.

Division de l'année entre les deux saisons froide et chaude. — J'ai commencé mon investigation, en admettant la division commune de l'année en deux moitiés ayant pour limites le 1er mai et le 1er novembre.

Mais il était nécessaire, avant d'entrer dans la discussion de l'influence de l'état d'hiver sur l'état d'été, de nettement définir et délimiter ces deux saisons.

La saison froide est celle des eaux habituellement hautes, et où par conséquent la majeure partie de la pluie profite aux cours d'eau.

Dans la saison chaude, les eaux sont au contraire habituellement basses; et la majeure partie de la pluie, d'abord absorbée par un sol échauffé, est reprise par une évaporation plus ou moins rapide.

Pour les cours d'eau qui, comme la Loire, ont leur source dans les hautes montagnes, on conçoit que le régime d'hiver doit commencer plus tôt et finir plus tard que pour ceux des plaines et bas plateaux.

La saison froide prédomine en effet dans les allures de la Loire, et se prolonge jusqu'à la fin de mai.

On arrive à le reconnaître :

En premier lieu, au moyen du relevé des dates du plus bas niveau de chaque année;

Pendant la période de 1831 à 1873 inclus, le minimum s'est produit une seule fois en mai, et le dernier jour de ce mois;

En deuxième lieu, par le rapprochement des hauteurs d'eau moyennes de mai et d'avril ;

En troisième lieu, dans la comparaison de cette cote moyenne de mai avec celles de l'hiver précédent et de l'été suivant.

Sur les quarante-cinq années de 1830 à 1874 inclusivement les tableaux de mon mémoire en montrent vingt-huit où le mois de mai appartient indubitablement à l'hiver.

Quant au mois d'octobre, la même méthode d'examen conduit à le considérer au contraire comme le dernier mois de l'été.

De sorte que la saison chaude, dans le bassin de la Loire, paraît ne commencer réellement qu'au 1er juin; mais elle finit au 31 octobre, comme dans le bassin de la Seine.

En ce qui concerne le régime des cours d'eau, l'année comporte donc deux saisons inégales dans cette grande région de la France :

La saison froide, composée des sept mois de novembre à mai inclusivement;

La saison chaude, composée des cinq mois de juin à octobre inclus.

De l'influence du régime d'hiver sur le régime d'été. — Mon relevé général des variations de la Loire, résumé comme il a été dit plus haut, est donc basé sur cette division inégale de l'année.

Dans un premier examen de ce relevé, on est d'abord frappé par ce fait remarquable : qu'à une longue période continue d'humidité, ne finissant qu'avec l'année 1863, succède une période également continue de sécheresse marquée.

Avant 1863, on ne trouve qu'une seule année où la hauteur moyenne de l'été soit inférieure à zéro, et l'on n'en compte que neuf où le plus bas niveau d'étiage soit au-dessous du zéro de l'échelle.

Dans le bassin de la Seine, la période actuelle de sécheresse commence à l'année 1857 (*), c'est-à-dire sept années plus tôt : et l'année 1858 est citée comme une année de sécheresse exceptionnelle, telle qu'on n'en avait pas vu depuis le commencement du siècle.

D'après le tableau ci-dessous, extrait d'une note présentée par MM. Belgrand et Lemoine à la séance du 1er juin dernier de l'Académie des sciences, cette sécheresse de 1858 ne serait surpassée que par celle de l'été 1870.

HAUTEUR MINIMUM DE L'ÉTIAGE DE LA SEINE A MANTES.

1857	1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873
mèt. 0,36	mèt. 0,09	mèt. 0,18	mèt. 0,97	mèt. 0,26	mèt. 0,50	mèt. 0,18	mèt. 0,25	mèt. 0,12	mèt. 0,67	mèt. 0,52	mèt. 0,09	mèt. 0,18	mèt. 0,01	mèt. 0,26	mèt. 0,11	mèt. 0,48

Or dans le bassin de la Loire, la période de sécheresse marquée ne commence qu'à l'année 1864; et dans la longue période d'humidité antérieure à 1864, l'été 1858 paraît le moins sec des neuf étés ci-dessus désignés, où le niveau d'étiage s'est abaissé au-dessous du zéro de l'échelle du pont d'Orléans.

Le tableau qui suit montre en outre que l'année 1858

(*) Belgrand, *Hydrologie de la Seine*, page 326.

serait une année de haut étiage, ou relativement humide, dans la période de sécheresse (*) que nous traversons actuellement.

	HAUTEUR		NOMBRE DE JOURS pendant lesquels le niveau s'est maintenu	
	moyenne.	minimum.	au-dessous de zéro.	au-dessous de — 0m,25.
	mètres.	mètres.		
Été 1858. . . .	0,31	— 0,06	4	»
— 1864. . . .	— 0,04	— 0,48	109	69
— 1865. . . .	— 0,23	— 0,60	132	93
— 1866. . . .	0,73	— 0,05	3	»
— 1867. . . .	0,40	— 0,21	30	»
— 1868. . . .	0,18	— 0,52	83	57
— 1869. . . .	— 0,12	— 0,74	109	101
— 1870. . . .	— 0,78	— 0,98	153	152
— 1871. . . .	— 0,29	— 0,69	128	109
— 1872. . . .	0,36	— 0,48	58	35
— 1873. . . .	— 0,03	— 0,53	99	62
— 1874. . . .	— 0,31	— 0,70	130	102

J'ai pensé qu'il n'était pas inutile de faire remarquer cette dissemblance entre les états de la Seine et de la Loire pendant les sept années de 1857 à 1863.

Car j'y vois un premier argument contre l'homogénéité de climat qui sera discutée plus loin, en raison de l'influence directe de l'état atmosphérique sur l'état des cours d'eau.

Cette remarque faite, j'entre maintenant dans la discussion des régimes comparés d'hiver et d'été.

Afin de la rendre à la fois plus simple et plus claire, j'ai réuni dans le tableau synoptique ci-après tous les hivers secs, qui sont confondus dans mon relevé général des états successifs de la Loire depuis 1830.

(*) Cette sécheresse extrême, d'après M. Belgrand (pages 328 et suivantes), n'est pas due à la diminution de la hauteur annuelle de la pluie, mais à sa mauvaise répartition entre l'hiver et l'été.

RÉGIME D'HIVER.						RÉGIME D'ÉTÉ.							
ANNÉES.	HAUTEURS d'eau moyennes.	NOMBRE de jours au-dessus de				ANNÉES.	HAUTEURS D'EAU		NOMBRE de jours au-dessous de				
		0	0m,50	1m,00	1m,50		moyennes.	minimum.	0m,50	0m,25	0	—0,m25	—0m,50
	mét.						mètres.	mètres.					
1831-32	0,55	212	134	7	»	1832	— 0,02	— 0,39	131	124	113	33	»
1833-34	0,68	205	114	43	29	1834	0,37	— 0,15	109	77	29	»	»
1834-35	0,79	212	169	39	14	1835	0,96	0,08	34	7	»	»	»
1848-49	0,92	212	212	36	14	1849	0,62	0,17	57	10	»	»	»
1851-52	0,75	213	206	10	»	1852	1,00	0,44	3	»	»	»	»
1853-54	0,83	212	203	31	8	1854	0,73	0,24	33	6	»	»	»
1857-58	0,85	212	195	36	9	1858	0,31	— 0,06	121	73	4	»	»
1858-59	0,87	212	204	23	10	1859	0,39	0,05	98	82	»	»	»
1861-62	0,62	212	144	2	»	1862	0,57	0,00	56	26	»	»	»
1863-64	0,70	209	164	16	2	1864	— 0,04	— 0,48	133	127	109	69	»
1867-68	0,79	213	194	27	5	1868	0,18	— 0,52	107	94	83	57	4
1869-70	0,41	155	118	4	»	1870	— 0,78	— 0,98	153	153	153	152	151
1870-71	0,63	189	136	20	3	1871	— 0,29	— 0,69	149	134	128	109	43
1871-72	0,60	194	140	20	10	1872	0,36	— 0,48	98	77	58	35	»
1873-74	0,34	169	67	»	»	1874	— 0,31	— 0,70	146	141	130	102	50

L'absence d'interligne signifie que (pendant l'été qui a précédé l'année inférieure) la Loire a été habituellement haute.

Dans les quinze hivers secs de ce tableau, quels sont ceux qui ont fait sentir visiblement leur action sur le régime d'été suivant, avec le concours des sécheresses antérieures?

Et quels sont ceux, dont l'action est annulée par une autre influence, qui ne peut être évidemment que celle des pluies de l'été ?

Je commence par les premiers.

1° L'hiver 1831-32 est très-bas. L'été 1832 est bas aussi. C'est le seul bas de la période d'humidité. La Loire s'était maintenue à un haut étiage pendant l'été antérieur.

2° L'été 1834, un peu bas, et précédé par un été un peu plus bas encore, semble aussi influencé par l'hiver 1833-1834.

3° L'été 1858 reproduit à très-peu près l'été 1834 ; bien qu'il succède à un hiver un peu moins sec et à un été dont la hauteur moyenne atteint $0^m,75$.

4° L'été 1864, comparable à celui de 1832, est précédé d'un hiver moins sec que l'hiver 1831-1832; mais l'été 1863 est un peu bas, tandis que l'été 1831 est au contraire assez haut.

5° L'été 1868 présente le même état et les mêmes circonstances antérieures que l'été 1864.

6° L'été 1870, d'une sécheresse tout à fait extraordinaire, puisque la Loire s'est tenue cent cinquante et un jours sur cent cinquante-trois au dessous du niveau — $0^m,50$, et que son minimum est descendu au niveau — $0^m,98$, le plus bas connu, manifeste surtout avec éclat l'action de l'extrême sécheresse de l'hiver, et de l'été fort sec aussi de 1869.

7° Enfin 1871 et 1874 sont encore des confirmations du principe de l'action de la sécheresse de l'hiver sur le régime d'été.

Voici maintenant les faits qui infirment ce principe :

1° L'été de 1835 se fait remarquer par des eaux très-hautes. Il succède pourtant à un hiver plus sec que l'hiver 1857-1858.

2° L'été de 1849 est dans le même cas.

3° La même anomalie se remarque pour l'été 1852.

4° Également pour l'été 1854.

5° Pour l'été 1862, la contradiction mérite surtout d'être notée.

L'hiver 1861-1862 est évidemment plus sec que l'hiver 1863-1864.

Les étés 1861 et 1863 ont une assez grande ressemblance dans le régime de la Loire, comme le montre le relevé général.

Et cependant l'été 1862 a sa place parmi les étiages

élevés, tandis que celui de 1864 a la sienne parmi les bas étiages.

Les observations pluviométriques, organisées et poursuivies régulièrement dans le bassin depuis 1862, donnent l'explication de cette divergence d'allures de la Loire, à Orléans, pendant les deux étés 1862 et 1864.

L'été 1862 a été plus pluvieux que celui de 1864, et cela a suffi pour contre-balancer l'influence de la sécheresse de l'hiver et de l'été précédents.

A Roanne (*), du 1er mai au 31 octobre, les hauteurs de pluies et les nombres de jours de pluies ont été en effet les suivants :

	1862	1864
Hauteur de la pluie.	0m,544	0m,402
Nombre de jours de pluie.	57	41

Je pourrais borner là mon argumentation ; mais je crois bon de la confirmer par d'autres contradictions remarquables dans les rapports des régimes d'été avec les régimes d'hiver ; d'autant que ces contradictions se montrent dans la période de sécheresse, et que les observations pluviométriques poursuivies pendant cette période permettent de reconnaître qu'elles sont dues à l'intervention des pluies d'été.

A cet effet, j'ai groupé dans le tableau ci-après les années dont le rapprochement fait ressortir ces divergences.

(*) Les résultats de Roanne sont, pour la saison chaude, très-rapprochés des moyennes arithmétiques de l'ensemble des stations des deux bassins de la Haute-Loire et de l'Allier.

Les relevés que j'ai faits des pluies observées dans ces deux bassins ne commençant qu'au 1er novembre 1862, pour l'ensemble des stations, j'ai dû prendre Roanne pour terme de comparaison.

RÉGIME OU SAISON D'HIVER.					RÉGIME OU SAISON D'ÉTÉ.							
ANNÉES.	Hauteur d'eau moyenne.	Nombre de jours pendant lesquels la Loire s'est tenue			ANNÉES.	Hauteurs d'eau		Nombre de jours pendant lesquels la Loire s'est tenue			Hauteur moyenne de la pluie dans le bassin.	Nombre moyen des jours de pluie dans le bassin
		à $0^m,50$ et au-dessus.	à $1^m,00$ et au-dessus.	à $1^m,50$ et au-dessus.		moyenne.	minimum.	à zéro et au-dessous.	à $0^m,25$ et au-dessous.	à $0^m,50$ et au-dessous.		
	mètres.					mètres.	mètres.				mètres.	
1863-64	0,70	164	16	2	1864	—0,04	—0,48	109	69	»	0,447	48
1864-65	1,00	212	64	24	1865	—0,23	—0,60	132	93	27	0,389	47
1865-66	0,95	201	58	27	1866	0,73	—0,05	3	»	»	0,580	65
1867-68	0,79	194	27	5	1868	0,18	—0,52	83	57	4	0,576	53
1868-69	0,99	212	67	20	1869	—0,21	—0,74	109	101	75	0,344	46
1869-70	0,41	118	4	»	1870	—0,78	—0,98	153	152	151	0,315	43
1870-71	0,63	136	20	3	1871	—0,29	—0,69	128	109	43	0,415	50
1871-72	0,60	140	20	10	1872	0,36	—0,48	58	35	»	0,634	71
1872-73	1,29	212	115	59	1873	—0,03	—0,53	99	62	4	0,376	50

On y voit :

En premier lieu, une grande dissemblance entre les deux étés 1865 et 1866 : celui-ci haut, l'autre au contraire très-bas.

Et cependant l'été 1866 devait donner un étiage encore plus bas que celui de 1865, sous le rapport de la sécheresse de l'hiver et de l'été antérieurs.

Mais les résultats moyens de la pluie tombée dans les deux bassins de la Haute-Loire et de l'Allier, pendant les six mois du 1[er] mai au 31 octobre, sont les suivants :

	1865	1866
Hauteur de la pluie.	$0^m,389$	$0^m,580$
Nombre des jours de pluie.	47	65

En deuxième lieu, une grande similitude entre les deux étés 1869 et 1865 qui sont précédés d'hivers et d'étés également semblables.

Aussi les deux étés 1869 et 1865 ont-ils été également pluvieux.

En troisième lieu, le niveau d'étiage se relevant d'une manière notable en 1872, bien que succédant à un hiver

non moins sec que celui de 1870-1871, et aux sécheresses extrêmes de 1871 et 1870.

Cela, parce que l'été 1872 est le plus pluvieux de la période 1862 à 1874 inclus.

En quatrième lieu enfin, l'été 1873 revenant aux bas niveaux, malgré l'action d'un hiver où la Loire a été plus forte qu'on ne l'avait vue depuis seize ans dans cette saison.

Aussi l'été 1873 est-il l'un des moins pluvieux observés.

En définitive, il me semble bien établi, par la discussion des observations hydrométriques constatées depuis 1830 et des observations pluviométriques poursuivies depuis 1862, que la loi de Dausse, vraie pour le bassin de la Seine, cesse de l'être pour celui de la Loire;

Que, par conséquent, l'action du régime d'hiver et l'influence des sécheresses antérieures peuvent souvent y être contrariées par les circonstances atmosphériques des mois chauds à venir;

Qu'ainsi, il ne faut pas songer à prévoir, vers la fin d'un hiver très-sec, le régime des eaux courantes pendant l'été suivant.

On serait exposé à de trop grands mécomptes dans ces prévisions.

Le climat est-il homogène dans tout le bassin de la Loire? — Le savant auteur du livre sur le régime de la pluie, des cours d'eau et des sources du bassin de la Seine, y a consacré un chapitre à la démonstration de l'homogénéité du climat de toute la partie de la France située au nord de son haut plateau central.

Après avoir prouvé sa proposition en ce qui concerne le bassin de la Seine, il énonce que cette uniformité s'étend au delà de ses limites et se montre également dans le bassin de la Loire.

« M. Minard, dit-il, a constaté que la Seine, à Paris, et
« la Loire, à Digoin, pendant les cinq années de 1810 à

« 1815, étaient presque toujours en crue en même temps.

« Je l'ai moi-même constaté pour huit années, de 1844 « à 1851, sur les courbes de variation de niveau de la « Loire à Saumur.

« En examinant les courbes de variation de niveau de « la Loire et de la Seine, on reconnaît qu'elles sont tou- « jours en crue en même temps pendant les mois de no- « vembre, décembre, janvier, février, mars et avril; qu'il « n'y a point d'exceptions pour les crues importantes, et « que les exceptions sont même assez rares pour les varia- « tions de niveau les plus insignifiantes. »

M. Belgrand voit dans la constance de ce fait la preuve de l'uniformité du climat dans les deux bassins de la Seine et de la Loire.

Il formule ainsi sa déduction :

« Toutes les pluies, qui produisent les crues dans les « cours d'eau situés au nord du plateau central, sont des « pluies générales. »

Cette opinion m'a semblé bien absolue dans son expression.

Venant de l'auteur des belles recherches hydrologiques qui ont le plus contribué aux progrès de cette science, elle se présente avec une telle autorité que j'ai cru ne pouvoir me dispenser de faire connaître qu'elle n'était pas conforme à la réalité des choses.

En étudiant les crues de la Loire, on s'aperçoit qu'elle est assez souvent haute ou basse à Saumur, pendant qu'elle est basse ou haute à Digoin : et ces circonstances sont le résultat de pluies localisées, soit dans le groupe des affluents inférieurs, soit dans celui des affluents supérieurs.

Même il arrive maintes fois que, dans chaque groupe, des affluents restent tout à fait étrangers à la crue, et par conséquent en dehors de la pluie.

Ces exceptions nombreuses ont été déjà signalées par M. l'inspecteur général Comoy, notamment dans son mé-

moire du 23 novembre 1857, où il établit des règles pratiques pour annoncer les crues de la Loire.

Il cite la crue extraordinaire de 1843, qui a en quelque sorte passé inaperçue en amont de Tours, parce qu'elle a été presque exclusivement produite par les affluents inférieurs.

Il cite la crue de 1846, désastreuse en amont de Tours, mais inoffensive en aval, parce que le Cher et la Vienne n'ont pas donné.

Il cite deux crues d'octobre 1857 :

Pour la première :

La Loire s'est élevée à $3^m,03$ à Digoin;

L'Allier à $1^m,51$, à Moulins, pendant que le Cher restait à $0^m,40$ à Noyers, et la Vienne à $0^m,25$ à Châtellerault.

Pour la deuxième :

La Loire, à Digoin, s'est élevée à $4^m,23$;

L'Allier, à Moulins, à $3^m,20$, tandis que le Cher se tenait à $0^m,55$, et la Vienne à $0^m,25$.

Il s'applique surtout à mettre en évidence une particularité très-remarquable.

Il montre que la Loire supérieure a quelquefois des crues, même très-fortes, pendant que les eaux de l'Allier restent très-basses; et jamais, dit-il, la réciprocité n'a lieu; c'est-à-dire que l'on n'observe jamais de crue dans l'Allier sans crue correspondante de la Loire supérieure.

Or, comme ces deux affluents ont à très-peu près la même constitution géologique et topographique, comme ils ont au même degré le caractère torrentiel, c'est-à-dire que les pluies y grossissent aussi rapidement les cours d'eau, on doit nécessairement en conclure que les pluies sont plus rares sur le bassin de l'Allier que sur le bassin de la Haute-Loire.

Et M. Comoy démontre qu'il en doit être ainsi, d'après la disposition du massif montagneux qui circonscrit les deux vallées du côté du sud.

M. Comoy explique encore l'absence de crues sur le Cher, la Vienne et la Creuse, quand la Loire ou l'Allier éprouvent de très-fortes crues, ou réciproquement.

Mais, quelles qu'en soient les causes, ces faits sont assez fréquents pour que la loi de la généralité des pluies, prouvée par M. Belgrand en ce qui concerne la Seine, puisse être contestée en ce qui concerne le bassin de la Loire.

J'ai fait sur les courbes annuelles du niveau des rivières, pour les douze années 1862 à 1873 inclusivement, le relevé de toutes les crues, grandes, moyennes et petites des six grands affluents du bassin, savoir :

La Loire supérieure à Digoin;
L'Allier à Moulins;
Le Cher à Noyers;
La Creuse au Blanc;
La Vienne à Châtellerault;
La Sarthe à Sablé.

J'appelle, ainsi que l'a fait M. Comoy :

Petites crues, celles qui ont moins de 2 mètres à Orléans;

Crues moyennes, celles qui ont moins de $3^m,50$ à Orléans;

Grandes crues, celles de $3^m,50$ au moins à Orléans;

Je crois devoir me contenter de donner ici la récapitulation de ce long relevé dans le tableau sommaire suivant :

	PETITES crues.	CRUES moyennes.	GRANDES crues.
Nombre des crues générales	77	18	2
Nombre des crues non générales auxquelles il a manqué un des six grands affluents	19	4	1
Nombre des crues non générales auxquelles il a manqué deux ... idem	16	»	»
Nombre des crues non générales auxquelles il a manqué trois ... idem	7	1	»
Nombre des crues non générales auxquelles il a manqué quatre ... idem	6	»	»
Nombre total des crues	125	23	3

Ainsi, sur 125 petites crues, 48 ne sont pas générales : soit 38 p. 100 (*).

Sur 23 crues moyennes, 5 ne sont pas générales : soit 22 p. 100.

Et sur 3 grandes crues, 1 n'est pas générale : soit 33 p. 100.

Pourquoi donc cette loi de l'homogénéité du climat, si bien démontrée par M. l'inspecteur général Belgrand pour le bassin de la Seine, ne s'étend-elle pas au bassin entier de la Loire, ainsi qu'il l'a supposé en voyant la Loire entrer en crue, soit à Digoin, soit à Saumur, en même temps que la Seine à Paris?

C'est que les bassins des deux fleuves diffèrent encore plus dans leurs dispositions topographiques que dans leur constitution géologique.

Dans le vaste bassin de la Seine, « les plus petites varia-« tions de niveau se reproduisent d'une extrémité à l'autre « du bassin avec une constance remarquable, et l'on peut « y prévoir une crue d'un ruisseau du Morvan au moyen « d'observations faites sur un ruisseau de Normandie ».

M. Belgrand justifie cette loi remarquable en montrant que ce bassin est un vaste plateau, horizontal entre la mer et Paris, et s'élevant ensuite doucement jusqu'à la Champagne, dont la plaine plus basse a été creusée dans ce plateau par les grands courants diluviens en même temps que les vallées de tous les cours d'eau.

Les crêtes des montagnes de la Côte-d'Or et du Morvan, qui sont ses limites les plus hautes, ne dépassent pas généralement 550 à 650 mètres; ce n'est qu'autour des sources

---

(*) Si l'examen n'est pas circonscrit aux six affluents principaux, et s'il s'étend sur les affluents secondaires tels que la Dore, la Sioule, l'Arroux, la Bèbre et l'Aron, le nombre des petites crues qui ne sont pas générales s'élève à 69, c'est-à-dire à plus de la moitié du nombre total des petites crues.

de l'Yonne, et sur une bien faible longueur, qu'on rencontre des sommets compris entre 700 et 902 mètres.

Mais dans le bassin plus vaste de la Loire, au lieu d'un plateau unique, on trouve au contraire de profondes vallées séparées par de hautes chaînes de montagnes, qui divisent cette grande région de la France en autant de bassins distincts que de grands affluents.

Entre l'Allier et la Haute-Loire, règne un faîte dont les altitudes varient entre 1.426 et 1.223 mètres depuis sa source jusqu'au confluent de la Dore, près Vichy.

Entre le Cher et l'Allier, le faîte se maintient entre 818 et 447 mètres d'altitude.

Entre la Vienne et le Cher, cette altitude du faîte atteint 954 mètres vers la source, et s'abaisse progressivement à 474 mètres.

Le bassin de la Vienne est d'ailleurs borné au sud par uue chaîne montagneuse courant de l'est à l'ouest, dont le faîte a des altitudes, comprises entre 806 et 954 mètres sur une moitié de sa longueur, et s'abaissant de 806 à 503 mètres sur l'autre moitié.

Or, on sait ce qui se passe quand un vent chargé de nuages rencontre un de ces grands obstacles naturels.

Un refroidissement général s'y produit aussitôt dans l'étendue de l'obstacle.

Il se refroidit d'abord, parce qu'il est contraint de s'élever plus haut dans l'atmosphère.

Il se refroidit en outre par le frottement des nuées contre les flancs moins chauds de la montagne, frottement que prolongent la roideur et l'escarpement des pentes.

La pluie se précipite dès lors en abondance sur les versants du faîte qui reçoivent le choc du vent.

Au contraire, la pluie diminue sur les versants opposés, parce que le courant se réchauffe en retombant dans l'autre vallée aussitôt qu'il a franchi le faîte.

De sorte que, si le vent pluvial n'a qu'une courte durée, il peut arriver qu'il soit complétement épuisé lorsqu'il pénètre dans la vallée voisine.

Voilà pourquoi sans doute il arrive si fréquemment que les pluies de faible intensité qui produisent les petites crues de la Loire, sur l'une ou l'autre partie de son long cours ne sont pas des pluies générales, et qu'elles sont circonscrites tantôt dans une partie de son bassin hydrographique, tantôt dans une autre.

Il me semble donc que le climat n'est pas homogène pour toutes les parties de cette vaste région de la France, puisque la pluie est l'un des principaux éléments du climat.

De l'emploi des observations pluviométriques au pronostic des crues. — Il existe une liaison manifeste entre les crues d'un cours d'eau et les quantités de pluie reçues par son bassin.

On conçoit, d'après cela, qu'on ait eu la pensée de fonder le pronostic de la hauteur d'une crue sur son rapport avec la hauteur de la pluie qui en est la cause.

L'administration a voulu préparer, pour l'avenir, le perfectionnement, sur ce principe, du service de l'annonce des crues de la Loire.

Des pluviomètres ont été répandus, après l'inondation de 1856, sur toute la superficie du bassin; et depuis 1862, l'ingénieur en chef de la 3e section de la Loire centralise (en vertu d'une décision ministérielle du 27 décembre 1862) le travail statistique de la constatation de la pluie observée chaque jour dans les 83 localités du bassin où les pluviomètres ont été établis.

Ce travail statistique complète celui des variations diurnes de la Loire et de ses affluents aux principaux points de leur littoral.

Le phénomène de la pluie, qui, dans son ensemble, se

montre à la fois soumis aux lois générales de l'astronomie et de la physique, est néanmoins fort irrégulier dans ses manifestations locales.

L'examen des faits observés et leur rapprochement montrent en effet des hauteurs de pluie très-différentes dans un espace assez restreint.

Les accidents du sol n'expliquent pas toujours ces différences, mais ils les produisent.

Il s'ensuit que la distribution des pluies est particulièrement désordonnée dans les régions montagneuses.

Là se manifestent les tourbillons, les remous, les nombreuses perturbations dans la marche générale des nuages pluvieux qui échappent encore aux investigations de la science.

Et ce désordre, qui est, à mon sens (*), l'une des plus sérieuses raisons de craindre l'inefficacité des réservoirs contre les inondations de la partie importante de la vallée comprise entre Briare et Nantes, doit aussi rendre extrêmement difficile le pronostic des crues de la Loire par l'observation de la pluie.

Ainsi, la hauteur de la pluie semi-annuelle, tombée pendant l'hiver et pendant l'été, est si variable d'une station à l'autre des deux bassins partiels de la Haute-Loire et de l'Allier :

Qu'on voit, comme dans l'hiver 1862-1863 par exemple, cette hauteur de pluie varier entre le minimum $0^m,174$ et le maximum $1^m,325$: la moyenne arithmétique des 29 stations étant $0^m,370$;

Et, dans l'hiver 1865-1866, entre le maximum $1^m,765$ et le minimum $0^m,191$, la moyenne arithmétique étant $0^m,436$.

Mais c'est dans les pluies de courte durée, qui occasion-

(*) Voir mon mémoire du 6 août 1872 sur les divers moyens de défense préconisés contre les inondations.

nent les crues, qu'apparaît surtout d'une manière frappante l'allure irrégulière du phénomène.

J'ai relevé, dans les trois tableaux n°s 6, 7 et 8 de mon mémoire, présentés à l'appui de cette discussion, ces hauteurs de pluie pour les trois crues ci-après :

1° Crue du 27 septembre 1866;
2° Crue du 23 octobre 1868;
3° Crue du 23 octobre 1872.

La crue du 27 *septembre* 1866, produite par une pluie dont la moyenne arithmétique est 0^m,133 pour les 29 stations des deux bassins de l'Allier et de la Haute-Loire, est la troisième crue d'inondation du siècle dans la partie de la vallée supérieure à Tours.

Elle a commencé le 24 septembre à Orléans, à 4 heures du soir, à la cote 0^m,72.

Elle atteignait son maximum le 27, à la cote 6^m,92.

Et elle a fini le 6 octobre, à 4 heures du soir, à la cote 1^m,15.

Elle a donc duré 12 jours.

Son débit maximum, par seconde, à Orléans, est le même que celui de la crue extraordinaire de 1856, soit 8.035 mètres cubes.

Son débit total est aussi d'environ 2.550 millions de mètres cubes.

La crue du 23 *octobre* 1868 a été produite par une pluie moyenne de 0^m,093.

Sa hauteur maximum est de 3^m,36.

Elle a commencé le 21 octobre à la cote 0^m,63, et fini le 27 à la cote 1^m,51.

Elle a duré 6 jours 1/3.

Son débit maximum est de 2.273 mètres cubes ;

Son débit total de 696 millions de mètres cubes.

La crue du 23 octobre 1872 a été produite par une pluie moyenne de 0m,076 seulement.

Sa hauteur maximum est de 5m,23.

Elle a commencé le 20 octobre à la cote 0m,82, et fini le 31 à la cote 1m,22.

Sa durée est donc de 11 jours.

Son débit maximum est de 4.228 mètres cubes;

Son débit total de 1.660 millions de mètres cubes.

Un premier fait saisit l'attention dans le rapprochement des principaux caractères des trois crues dont il s'agit.

On est frappé de voir que la crue de fin d'octobre 1872, si supérieure à celle de fin octobre 1868, a pourtant été produite par une pluie sensiblement moindre, dans le rapport de 7 à 9 environ.

Là se montre, avec la dernière évidence, une difficulté peut-être supérieure à celle de l'évaluation de la hauteur moyenne de la pluie sur la région qui l'a reçue.

Cette difficulté consiste dans la connaissance du degré de saturation du sol au moment où la pluie tombe.

La part qu'il n'absorbe pas et qui va grossir sur le champ les cours d'eau, est loin en effet d'être constante (*).

Il n'est sans doute pas impossible d'arriver à la connaître. Est-il besoin de dire, toutefois, que l'expérience sera longue et laborieuse?

Mais je reviens à la difficulté d'apprécier la hauteur moyenne de la pluie.

Les tableaux nos 6, 7 et 8 de mon mémoire suffiraient seuls, je crois, à en donner une juste idée.

Leur examen montre en effet une très-grande irrégularité

(*) Voir les résultats d'expériences cités, à la page 534 des *Annales* 1870, dans la note de MM. Belgrand et Lemoine sur l'état probable des eaux courantes du bassin de la Seine pendant l'été et l'automne 1870.

dans la répartition de la pluie, surtout pour les deux crues du 23 octobre 1868 et du 23 octobre 1872.

On y pourra constater de plus les contrastes que fait ressortir le tableau ci-dessous :

	HAUTEUR DE LA PLUIE	
	de la crue moyenne de 1868.	de la crue extraordinaire de 1866.
	mètres.	mètres.
Station de Saugues	0,127	0,085
Id. de Murat	0,115	0,123
Id. de la Chaise-Dieu	0,109	0,112
Id. de Brioude	0,285	0,060
Id. de Montpezat	0,397	0,147
Id. du Pilat	0,161	0,050
	Crue de 1868.	Grande crue de 1872.
	mètres.	mètres.
Station de Langogne	0,192	0,263
Id. de Brioude	0,285	0,046
Id. de Chantelle	0.029	0,058
Id. de Montpezat	0,397	0,030
Id. de Bas-en-Basset	0,095	0,009
Id. de Montbrizon	0,037	0,087
Id. de Roanne	0,056	0,101

En définitive, expliquées ou non, les inégalités si nombreuses de la répartition de la pluie, sur une grande région, rendent très-difficile la détermination de sa hauteur moyenne.

Pour atteindre la vérité dans cette évaluation, il faudra multiplier les pluviomètres et accumuler longtemps encore les observations.

De sorte que, par cette première raison, on peut déjà craindre que la science ne réussisse pas, de nos jours, à annoncer les crues du fleuve au moyen des observations pluviométriques.

Mais il ne suffit même pas d'obtenir la hauteur moyenne vraie de la pluie.

Il est nécessaire en outre de connaître, comme on l'a vu plus haut, le degré de saturation du sol avant la chute de la pluie, ou en d'autres termes la part de la pluie qui descend immédiatement dans les thalwegs.

Et comme cet état de saturation varie avec les saisons, avec les mois, même avec les jours pendant les fortes chaleurs de l'été, on trouve donc de cet autre côté une difficulté non moins grande, qui contribuera aussi fortement que la première à éloigner la solution du problème.

Orléans, le 25 mars 1875.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Mai 1875.

N° 21

Les chemins de fer russes. — D'après des renseignements fournis par le *Journal officiel*, le nombre des voyageurs transportés par les chemins de fer russes s'est élevé à 22.809.111 pour l'année 1873, alors qu'il n'avait été que de 20.675.851 en 1872. Nous indiquons dans le tableau suivant la manière dont les voyageurs se sont répartis entre les trois classes pour les années 1867, 1869 et 1872 :

	NOMBRE TOTAL.			PROPORTION P. 100.		
	1867	1869	1872	1867	1869	1872
1re classe.	303.099	404.528	465.681	3,8	3,6	2,4
2e classe.	1.177.523	1.499.302	2.748.352	14,4	13,3	13,2
3e classe.	6.672.554	9.318.128	17.461.818	81,8	83,1	84,4
Totaux.	8.153.176	11.221.958	20.675.851	100,0	100,0	100,0

Sur une ligne, celle de Dunabourg-Vitebsk, la proportion de la 3e classe s'élève à 94 p. 100; sur la ligne de la Baltique, avec son embranchement sur Peterhof, la proportion atteint 7 p. 100 pour la 1re classe.

La recette brute totale en 1873 s'est élevée à 483.795.600f. et le bénéfice net à 202.282.800 francs; ce qui correspond à un revenu de 3,77 si l'on ne tient compte que des capitaux employés à des lignes actuellement exploitées.

Au 1er janvier 1874 l'étendue totale du réseau ferré (lignes exploitées, en construction ou concédées) atteignait près de 20.000 kilomètres.

Le Metropolitan de Londres. — A la suite de quelques morts subites qui eurent lieu sur le chemin de fer Métropolitain de Londres, l'opinion publique s'émut et l'on exprima l'opinion que l'air des tunnels était complétement vicié et était dangereux à respirer pour les personnes délicates. Une étude complète faite par MM. G. H. Bachoffner, H. Letheby et J. Whitmore mit hors de doute les résultats suivants : l'air des parties souterraines peut contenir de l'acide carbonique et de l'acide sulfhydrique en quantités suffisantes pour être perçus par l'odorat, même désagréablement, mais qui ne peuvent en aucun cas présenter d'inconvénients graves. Des réactifs très-sensibles n'ont pas pu mettre en évidence la présence de l'acide sulfhydrique, bien qu'ils décèlent en général une proportion de 0,00001 de ce gaz; l'acide carbonique a été dosé à diverses reprises et la quantité maxima que l'on a observée est de 0,00061, proportion qui est souvent dépassée à l'air libre et presque toujours dans les lieux de réunion. L'oxyde de carbone n'a été retrouvé que par exception. Il est donc prouvé que l'air des tunnels, bien que produisant une sensation désagréable, n'offre aucun danger pour la respiration.

L'un des tunnels qui, à ce point de vue, était dans les conditions les plus fâcheuses, celui compris entre Gower Street et Portland Road, vient d'être amélioré au point de vue de la ventilation qui s'effectuait très-mal, ce tunnel ayant une longueur de 3.900 mètres sans aucune communication avec l'air extérieur. Voici la disposition qui a été adoptée et qui était possible par suite d'une circonstance toute particulière.

La voûte du tunnel est traversée à sa partie supérieure par un tube destiné au transport pneumatique des lettres et

paquets entre Euston Square, Holborn et l'Hôtel des postes. Ce tube, dont la longueur est d'environ 3.000 mètres, a la forme d'un ⌓ couché; sa surface est d'environ $1^{mq},25$; il est traversé par des wagons mus par la pression de l'air. A cet effet, une machine à air est installée à Holborn ; elle agit comme machine soufflante lorsque le départ a lieu de cette station et comme machine aspirante lorsque Holborn est le lieu d'arrivée; elle peut produire dans chaque cas une différence de pression de $0^{k},265$ par centimètre carré.

Par suite de la position relative de ce tube et du tunnel on a pu ouvrir des communications dans le plancher du premier et la voûte du second. Ces ouvertures, au nombre de deux, sont rectangulaires et ont 2 mètres sur $0^{m},60$. Elles peuvent être fermées et ouvertes à l'aide de valves mues par les wagons porteurs qui passent dans le tube; ces valves sont ouvertes lorsque le wagon part d'Holborn ; l'air qu'il refoule s'échappe par ces ouvertures dans le tunnel jusqu'à ce que le wagon parvienne en ce point; il ferme alors les soupapes qui ne sont ouvertes qu'à son passage au même point, en sens contraire; le vide qui tend alors à se former derrière lui produit une aspiration de l'air du tunnel. Ces périodes de ventilation se répètent maintenant vingt-deux fois dans les vingt-quatre heures; l'air, dans chaque cas, s'écoule dans la proportion de 1.000 mètres cubes environ par minute. Il est question d'établir entre ces valves et Holborn une communication télégraphique qui permettrait de les ouvrir et de les fermer à volonté et de produire la ventilation soit par appel, soit par refoulement pendant tout le temps que le tube ne serait pas employé au transport des dépêches.

Il paraît que cette disposition a apporté une amélioration réelle à la ventilation du tunnel.

Les renseignements qui précèdent sont extraits de l'*Engineering*.

Le Metropolitan de Londres. — D'après les termes de sa concession, la compagnie propriétaire de ce chemin de fer ne pouvait faire circuler de trains de marchandises sur sa ligne; après une minutieuse enquête, et malgré les réclamations des riverains, qui prétendaient que le passage de trains lourdement chargés compromettrait la solidité des maisons par suite des trépidations produites, le Parlement, faisant droit à la demande de la compagnie, l'a autorisée à organiser des trains de marchandises.

(*The Builder*).

C. M. G.

BIBLIOGRAPHIE.

N° 22

Hygiène et assainissement des villes; par J. B. Fonssagrives, professeur d'hygiène à la Faculté de médecine de Montpellier (*).

L'hygiène est une science relativement nouvelle : elle ne pouvait prendre tout son développement qu'après que les conditions d'existence et de santé des êtres vivants eurent été déterminées scientifiquement; la comparaison des premiers principes d'hygiène qui purent être posés avec les circonstances diverses dans lesquelles l'homme s'était placé, montra combien on s'était éloigné inconsciemment de ces principes; tout à peu près, on peut le dire, était à modifier. Pour nous restreindre au sujet dont nous voulons parler, les villes étaient construites de manière à manquer à toutes les prescriptions des hygiénistes : la situation s'était aggravée et s'aggravait continuellement par l'accroissement des populations, par le développement des industries, dont un certain nombre sont plus ou moins insalubres. Dans les principales villes de France et de l'étranger, la situation devint telle qu'il fallut prendre des mesures énergiques et, en même temps qu'on réglementait les industries insalubres, on procédait à des travaux d'assainissement. Les ingénieurs des ponts et chaussées se sont trouvés et se trouveront encore chargés de travaux de ce genre et rien dans leurs études techniques ne les a spécialement préparés à ces questions : les documents nécessaires existent, mais disséminés dans diverses publications, et

(*) Un volume in-8°. Paris, 1874, J. B. Baillère.

l'on n'a pas toujours le temps ou la possibilité de les consulter.

Le Dr Fonssagrives, professeur d'hygiène à la Faculté de médecine de Montpellier, vient de faire paraître un livre qui nous paraît appelé à rendre des services aux ingénieurs chargés de travaux urbains, bien que cet ouvrage n'ait pas été écrit spécialement à leur intention et qu'il soit le résumé d'une partie du cours professé par l'auteur. Cette origine explique la présence de détails techniques sur les voies publiques, leur mode de construction, d'entretien, etc., détails qui ne sont d'aucune utilité pour les ingénieurs, mais qui étaient nécessaires pour les auditeurs et qui sont indispensables pour les personnes appelées à s'occuper de l'hygiène publique sans s'être occupées des travaux dépendant de l'art de l'ingénieur, telles que les administrateurs, magistrats, médecins, etc.

Dans l'ouvrage que nous analysons, certains chapitres, d'ailleurs fort intéressants, ne se rattachent pas aux travaux des ingénieurs, nous n'en parlerons pas; mais nous signalerons cependant un chapitre sur *les conditions originelles des villes*, qu'il importe de lire pour se rendre compte de l'influence que présentent la situation, l'orientation, la configuration, l'altitude et l'assiette géologique et hydrologique d'une ville sur les conditions hygiéniques dans lesquelles elle se trouve et sur les améliorations générales qu'il faut tenter.

Le chapitre *la rue et le quartier* contient, avec d'autres renseignements importants, une section consacrée à l'étude du revêtement de la chaussée; la question de prix est bien plus que la question d'hygiène la cause déterminante du choix que l'on fait d'un système de revêtement; il est bon cependant de savoir que, au point de vue de la salubrité publique, il n'y a pas parité entre les divers systèmes, et que, à prix égal, on devrait chercher dans cette condition les motifs du choix à faire.

La question de l'entretien des rues et particulièrement de leur arrosage mérite d'appeler l'attention. Le Dr Fonssagrives attribue aux poussières en général la production d'ophthalmies et de certaines affections du larynx; il attribue à leur influence, dans quelques cas, la chute prématurée des cheveux, et signale l'action fâcheuse qu'elles exercent sur les végétaux ; il y a dans ce chapitre une série de considérations intéressantes.

Les poussières organiques, germes de toute espèce, jouent également un rôle important à divers points de vue, et il y aurait intérêt à supprimer toutes les poussières. La question de l'enlèvement des boues et immondices, celle des urinoirs et des water-closets est en dehors des sujets que nous voulons signaler. Nous rentrons au contraire dans cet ordre d'idées avec les promenades et plantations : malgré les doutes qui ont été formulés sur l'utilité des arbres sur les voies publiques, il semble que, dans des conditions convenables de largeur à déterminer suivant les climats et l'orientation, cette utilité ne puisse être déniée; quelques renseignements sur les espèces qui paraissent convenir le mieux à cette destination, des données statistiques sur les promenades et jardins publics des principales villes du monde terminent ce chapitre.

La question de la circulation amène l'auteur à signaler les inconvénients qu'il attribue aux bruits, bruits urbains et bruits industriels; non-seulement ces bruits sont fâcheux pour les malades, mais il pense que « *la livrée nerveuse des tempéraments et des maladies, dans les grandes villes, doit certainement être, en grande partie, attribuée à cette cause* ». Cette considération, si l'on jugeait opportun d'en tenir compte, pourrait entrer en ligne pour la détermination du mode de revêtement des chaussées.

Après avoir étudié l'éclairage public, dont le choix et l'entretien n'incombent pas aux ingénieurs, nous arrivons à l'une des questions les plus importantes au point de vue

de l'assainissement : la ville souterraine. « On peut établir, dit le Dr Fonssagrives comme un aphorisme, en hygiène publique, qu'une ville vaut comme salubrité ce que vaut son système de canalisation souterraine comme construction et comme entretien, et aussi ce que valent ses cimetières. » Cette question ramène l'auteur à insister d'abord sur un point qu'il avait déjà signalé : le drainage des villes qui ne reposent pas directement sur le roc et, par le mot drainage il s'agit, non pas de l'établissement d'un système d'égouts, mais d'un drainage véritable : le drainage des villes est plus généralement usité en Angleterre qu'en France, et l'on a noté, à la suite des travaux de ce genre, une diminution des brouillards; les fièvres typhoïdes, les rhumatismes sont moins fréquents, et le nombre des phthisiques est moins grand.

Il est intéressant de remarquer que le drainage n'a pas seulement pour effet de dessécher la terre, mais qu'il a aussi comme résultat, en faisant affluer l'air, de faciliter la combustion lente des sulfures et des matières organiques qui imprègnent le sol sur une certaine épaisseur. Cette question, dont l'importance avait déjà été signalée par M. de Freycinet (*), mérite d'appeler l'attention des ingénieurs.

La question des égouts est assez généralement connue aujourd'hui : les grands travaux qui ont été faits depuis un quart de siècle en France et à l'étranger ont appelé nécessairement l'attention sur ce sujet, et les documents publiés depuis cette époque permettent une étude complète du sujet; le chapitre que M. Fonssagrives a consacré à cette question contient en résumé nombre de faits intéressants à connaître.

Nous passerons sans nous arrêter sur le chapitre des

(*) *Rapport sur l'assainissement industriel et municipal en France*, page 197.

cimetières, bien que la question présente de l'actualité et qu'elle soit traitée avec intérêt.

Les eaux des villes forment une partie importante de l'ouvrage que nous analysons : le développement attribué à ce sujet est d'ailleurs bien justifié par l'importance que tout le monde attache maintenant aux choix des eaux et à l'établissement d'un système de distribution.

L'étude de l'origine des eaux est faite avec un grand soin, les exemples abondent et les faits qui sont relatés montrent d'une manière saisissante les inconvénients d'une gravité extrême qui peuvent résulter de l'emploi d'eaux souillées particulièrement par des matières organiques. Il n'est pas possible de résumer, d'analyser ce chapitre qui est intéressant à lire en entier : l'auteur conclut, conformément à l'opinion généralement admise aujourd'hui, que les eaux de source sont les meilleures.

Les chapitres qui suivent ceux qui se rapportent à la question des eaux sont également intéressants à lire ; ils sont instructifs par les nombreux faits qu'ils relatent, par des exemples pris en France et à l'étranger ; ils se rapportent d'ailleurs à des sujets sur lesquels tous les hommes qui s'intéressent à la chose publique devraient être renseignés, tandis que trop souvent ceux-là mêmes qui ont une charge et une responsabilité en sont ignorants. Mais tout utiles à connaître qu'ils soient, ils ne se rapportent pas spécialement aux travaux des ingénieurs et nous ne croyons pas, en conséquence, devoir insister davantage.

En résumé, M. le docteur Fonssagrives a fait un ouvrage qui nous paraît devoir être fort utile aux ingénieurs chargés de travaux urbains. Il est fâcheux, à un certain point de vue, que ce livre n'ait pas été écrit plus spécialement à leur intention, ce qui, en permettant de supprimer un certain nombre de détails, aurait rendu possible de plus grands développements sur des questions spéciales ; mais, tel qu'il est, il nous paraît susceptible de rendre des ser-

vices réels et par les idées qu'il expose et par les faits nombreux qui corroborent ces idées.

Trois notes sur la théorie de la poussée des terres. Désaccord entre l'ancienne théorie et l'expérience; nouvelles expériences; réponse aux objections; par J. Curie. 1 vol., 16 p. in-8° avec fig. Paris, Gauthier-Villars, 1873.

Dans cette brochure, l'auteur a réuni, en y introduisant des figures, quelques notes qui ont paru dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* et dans le *Bulletin de l'Association scientifique de France:* il rapporte les résultats d'expériences qu'il a entreprises dans le dessein de vérifier une théorie opposée à l'ancienne théorie; ces résultats, en petit nombre d'ailleurs, sont confirmatifs des nouvelles formules. L'auteur répond ensuite à quelques objections qui ont été présentées contre sa théorie.

Nota sull' equilibrio delle volte, del prof. Cesare Ceradini (*Note sur l'équilibre des voûtes,* par le professeur César Ceradini). 1 vol. in-4°, 21 p., 3 pl. (Extrait du *Journal des sciences naturelles et économiques* de Palerme, 1873.)

Le professeur Ceradini donne dans cette note quelques démonstrations nouvelles de propriétés connues des courbes de pression, ainsi que les énoncés de quelques propriétés nouvelles relatives, par exemple, aux courbes de pression correspondant à la réaction horizontale maxima et à la réaction horizontale minima.

Il rappelle la méthode indiquée par M. A. Durand-Claye pour la détermination graphique (*) des pressions compatibles avec l'équilibre d'une voûte donnée, et généralise la méthode de cet auteur en l'appliquant aux voûtes dissy-

(*) Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1867.

métriques. Enfin il fait connaître quelques expériences qu'il a entreprises dans le dessein de rechercher directement la position du centre de pression sur les joints et qui lui ont montré que, pour les joints de rupture au moins, les résultats obtenus sont conformes à ceux qui ont été indiqués par Scheffler dans son *Traité de la stabilité des constructions*, 1864.

C. M. G.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

OUVRAGES FRANÇAIS.

Alphand. — Arboretum et fleuriste de la ville de Paris. Description, culture et usage des arbres, arbrisseaux et des plantes herbacées et frutescentes de plein air et de serres employées dans l'ornementation des parcs et jardins; par A. Alphand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux de Paris. In-f°, 110 p. Paris, imp. Claye; lib. Rothschild. 50 fr.

Ausiaume. — Mémoire sur le mascaret, et des moyens de détruire la barre; par A. Ausiaume. In-8°, 16 p. Rouen, imp. Joignant.

Badois. — Note sur les principaux travaux d'utilité publique de l'Égypte. Analyse de l'ouvrage de M. Linant de Bellefonds Bey, ancien ministre des travaux publics, membre du conseil privé, etc.; par M. Edmond Badois, ingénieur. In-8°, 16 p. Paris, imp. Viéville et Capiomont; lib. Arthus Bertrand.

Baudot. — Le Nivellement général de la France et le nivellement de précision de la Suisse; par M. Maurice Baudot, lieutenant d'état-major, ancien élève de l'École polytechnique. In-8°, 20 p. Paris, imp. et lib. Dumaine. 75 c.

Bertin (L. E.), ingénieur de la marine, docteur en droit. — Notice sur la marine à vapeur de guerre et de commerce, depuis son origine jusqu'en 1874. Paris, lib. Dunod.

Burdel. — Des étangs, de leur maintien ou de leur suppression, au point de vue de l'hygiène, de l'agriculture et de la législation; par le docteur Édouard Burdel. In-8°, 51 p. Bourges, imp. Jollet; Paris, lib. G. Masson, 3 fr. 50 c.

Carte de France dressée au dépôt des fortifications, au 1/500,000. Feuille 5. Paris. Par Erhard. Paris, chromolith. Monrocq.

Carte hydrologique du département de Seine-et-Marne, exécutée par M. Delesse, ingénieur en chef des mines (2 feuilles). Paris, chromolith. Monrocq.

Chatignier. — Commentaire des clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux des ponts et chaussées (cahier du 16 novembre 1866); par M. Chatignier. 7e *édition*, revue et mise au courant de la jurisprudence par M. Ch. Barry, avocat au Conseil d'État. In-18, VI-244 p. Paris, imprim. Dumaine; lib. Cosse, Marchal et Billard. 3 fr. 50 c.

Chemins de fer de l'Europe. — Résultats généraux de l'exploitation. Années 1867 et 1868. Ministère des travaux publics. Direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer. Bureau de statistique. In-4°, XV-83 p. Paris, imp. nationale.

Collignon. — Traité de mécanique; par Édouard Collignon, ingénieur des ponts et chaussées, professeur à l'École des ponts et chaussées. 3e partie. Dynamique. Livres 1, 2, 3, 4. In-8°, 612 p. Paris, imp. Raçon et Ce; lib. Hachette et Ce. 7 fr. 50 c.

Costa de Bastelica. — Les Torrents, leurs lois, leurs causes, leurs effets. Moyens de les réprimer et de les utiliser. Leur action géologique universelle; par Michel Costa de Bastelica, conservateur des eaux et forêts. In-8°, 286 p. et 3 pl. Paris, imp. Chamerot; lib. Baudry.

Croizette-Desnoyers, inspecteur général des ponts et chaussées. — Notice sur les travaux publics en Hollande. Paris, lib. Dunod.

Deghilage et Morandière. — Les Locomotives à l'Exposition de Vienne en 1873. Notices et dessins. Résumé de documents divers, mis en ordre et complétés par MM. Deghilage et J. Morandière. Précédé d'une note sommaire sur l'exploitation des chemins de fer allemands et autrichiens au point de vue de l'emploi des divers types de locomotives; par M. J. Morandière. Partie 1. In-8°, 70 p. et 1 pl. Paris, imp. Broise. 7 fr.

Dumont. — Les Eaux de Nîmes, de Paris et de Londres. Description des travaux exécutés à Nîmes pour la distribution des eaux du Rhône filtrées; par Aristide Dumont, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et Georges Dumont, ingénieur. In-4°, XVI-310 p. et atlas de 23 pl. Paris, imp. Arnous de Rivière et Ce; lib. Dunod.

Ernouf. — Histoire des chemins de fer français pendant la guerre franco-prussienne; par le baron Ernouf. In-18 jésus, 461 p. Boulogne (Seine), imp. J. Boyer et Ce; Paris, Librairie générale. 4 fr.

Favre. — Réformes des employés de chemin de fer affectés de

daltonisme; par le docteur A. Favre. In-8°, 23 p. Lyon, imp. Vingtrinier. Note lue, le 28 août 1873, à la 12e section du congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, et extraite du Lyon médical du 14 septembre 1873.

LÉVY. — La Statique graphique et ses applications aux constructions; par M. Maurice Lévy, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, XXIII-323 p. et atlas de 24 pl. Paris. imprim. et lib. Gauthier-Villars.

MARTIN. — Code nouveau de la pêche fluviale, annoté et expliqué d'après la jurisprudence de la Cour de cassation et des cours d'appel, à l'usage des gendarmes et des agents chargés de la surveillance de la pêche; par E. Martin, docteur en droit, ancien avocat. *Nouvelle édition*, mise au courant de la législation et de la jurisprudence. In-18, 260 p. Paris, imp. et lib. Léautey.

MORANDIÈRE. — Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en métal, pour routes, canaux et chemins de fer; avec un appendice pour la construction des souterrains; par M. R. Morandière, inspecteur général des ponts et chaussées. 1er fascicule. In-4°, VIII-280 p. et pl. 1 à 53. Paris, imp. Raçon et Ce; lib. Dunod.

Ports maritimes de la France. Tome Ier (de Dunkerque à Étretat). Paris, imp. nationale.

Projet d'un nouveau port à construire en eau profonde, au sud-ouest du port actuel de Boulogne, pour le service des relations internationales. Notice sur cette entreprise, extraite en partie d'un rapport fait à la Chambre le 5 décembre 1873, en partie de documents nouveaux, etc., et accompagnée d'un plan. In-12, XXXV-51 p. Boulogne-sur-Mer, imp. Simmonnaire et Ce.

RIVIÈRE-DEJEAN. — Les Eaux publiques à Alais; par A. Rivière-Dejean, in-8°, 36 p. Alais, imp. Trintignan.

ROUSSEAU. — Étude sur le service de la voirie dans le département du Finistère par A. Rousseau, conseiller général et député du Finistère, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 28 p. Versailles, imp. Cerf et fils.

SARRUT. — Législation et jurisprudence sur le transport des marchandises par chemins de fer. Tarifs. Délais. Droits et obligations des expéditeurs et des destinataires. Responsabilité des compagnies. Impôts, Traité théorique et pratique; par Louis Sarrut, avocat. Préface par Ch. Lyon-Caen, professeur agrégé à la Faculté de droit de Paris. In-8°, XVI-636 pages. Paris, imp. et lib A. Chaix et Ce.

SERGENT. — Traité pratique et complet de tous les mesurages

métrages, jaugeages de tous les corps, appliqué aux arts, aux métiers, à l'industrie, aux constructions, aux travaux hydrauliques, aux nivellements, etc., enfin à la rédaction de projets de toute espèce de travaux du ressort de l'architecture, du génie civil et militaire; terminé par une analyse et une série de prix de près de mille articles avec détails sur la nature, la qualité, la façon et la mise en œuvre des matériaux. Avec atlas de 47 pl. gravées en taille-douce sur acier ; par E. Sergent, ingénieur civil et conducteur au corps national des ponts et chaussées. 7e *édition*, revue et augmentée. T. II. In-8°, 695, p. Abbeville, imp. Briez, Paillart et Retaux; Paris, lib. Ve A. Morel et Ce. 50 fr.

VALLÉE. — Les Eaux de la Beauce; par E. Vallée, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite. In-8°, 8 p. Paris, imp. Hennuyer.

OUVRAGES ANGLAIS.

DAMNAY (A. D.). — Treatise upon Railway Signals and Accidents. 8vo, sd. *Spon.*

Traité des signaux et des accidents de chemins de fer.

Fog Signals. Report of Professor Tyndall upon recent experiments with regard to Fog Signals. Diagrams.

Rapport du professeur Tyndall sur des expériences récemment faites relativement aux signaux à employer en temps de brouillard.

HANDYSIDE (H.). — Treatise on an Improved Method of Overcoming Steep Gradients on Railways. 8vo, sd. *Spon.*

Sur une méthode nouvelle pour gravir les fortes rampes sur les chemins de fer.

Lighthouses. Further Correspondence relative to Proposals to substitute mineral Oils for Colza Oil in Lighthouses.

Substitution des huiles minérales à l'huile de colza dans les phares.

LUCAS (J.). — Horizontal Wells : A New Application of Geological Principles to effect the Solution of the Problem of Supplying London with Pure Water. Stanford.

Puits horizontaux proposés, d'après les principes de la géologie, pour fournir de l'eau pure à Londres, etc. 1 vol. in-8°, 86 pages.

MAHAN (D. H.). — Elementary Course of Civil Engineering, for the Use of Cadets of the United States Military Academy. With numerous Illustrations, and an Appendix and General Index. Edited by Prof. De Volson Wood. 2nd ed. 8vo. *New-York.*

Cours élémentaire de génie civil, etc.

Symons (G. J.). — Bristish Rainfall, 1873; or, the Distribution of Rain over the British Isles during the Year 1873 as observed at about 1.700 Stations in Great Britain and Ireland. *Stanford.*

La pluie en Angleterre en 1873. 1 vol. in-8°, 193 pages avec cartes et figures.

Railway and Canal Traffic Act, 1873. With amended General Orders of August, 1874.

Loi de 1873 sur les transports par chemins de fer et par canaux.

Railways. Report of Inspectors on Accidents, Jan. to April 1874.

Rapport des inspecteurs sur les accidents de chemins de fer, etc.

Returns relative to the Interlocking and Concentrating of Signal and Point Levers, etc., and to the Systems upon which the Lines of Railway are Worked.

Rapports sur la concentration et l'enclanchement des leviers des signaux et des aiguilles, et sur le système d'après lequel les chemins de fer sont exploités.

Stephenson (Sir R. Macdonald.). Elementary and Practical Instructions in the Science of Railway Construction. 5th ed., revised and considerably augmented, by Edward Nugent. (Weale's Series.) *Lockwood.*

Principes de la construction des chemins de fer. 1 vol. in-12, 270 pages.

OUVRAGES ALLEMANDS.

Heinz (Cst.). — Beiträge zum Bau der Brücken, Durchlässe und Futtermauern bei Eisenbahnen. Eine Sammlung von Erfahrungen bei deren Ausführung. Berlin, 1874. Nicolai's Verl.

Construction des ponts de chemins de fer, etc., in-4°, 46 p., 31 fig.

Heinzerling (F.). — Die Brücken der Gegenwart. Systematisch geordnete Sammlung der geläufigsten neueren Brückenconstructionen, gezeichnet von Studirenden des Brückenbaus an der königl. rheinisch-westphälischen polytechnischen Schule zu Aachen. I. Abth. Eiserne Brücken. Aachen, 1874. Mayer.

Les Ponts modernes, etc. 1re partie : Ponts en fer, in-folio, 2 vol. avec 6 pl. — Aix-la-Chapelle.

Zarmund (St.). — Zasady budowy i utrzymania kolei zelaznych. Tom I. Tekstu i Atlasu. Lwow, 1873.

Les fondations des constructions pour les chemins de fer. 1 vol. in-8°, 214 p. et 26 pl.

OUVRAGES ITALIENS.

Clerici (Ing. V.). — Idrostatica Grafica applicata alle condizioni di equilibrio di un piedritto a sostegno delle acque in riposo. in-8. pag. 32. Novara, 1874.

Hydrostatique graphique appliquée, etc.

Del Prete (F.). — Sopra l' armamento delle ferrovie economiche. Osservazioni e studio tecnico economico di un nuovo sistema. In-8. pag. 84 con una carta. Roma 1874, lit. del Giornale del Genio civile.

La voie des chemins de fer économiques.

Donatoni (Ing. Carlo). — Sul canale da derivarsi dall'Adige onde avere in città la forza motrice ai servizii dell'industria. in-8. pag. 20. Verona, 1874.

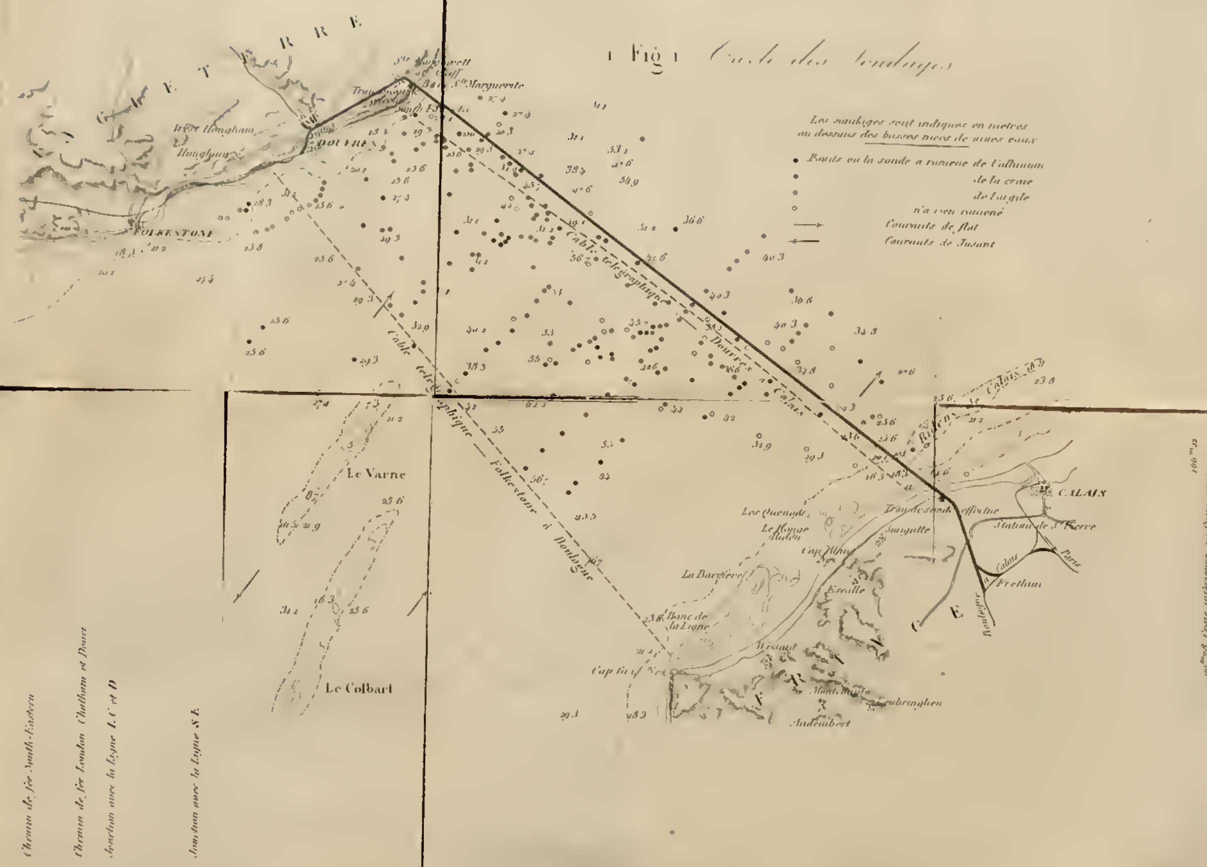
Canal de dérivation de l'Adige pour obtenir de la force motrice.

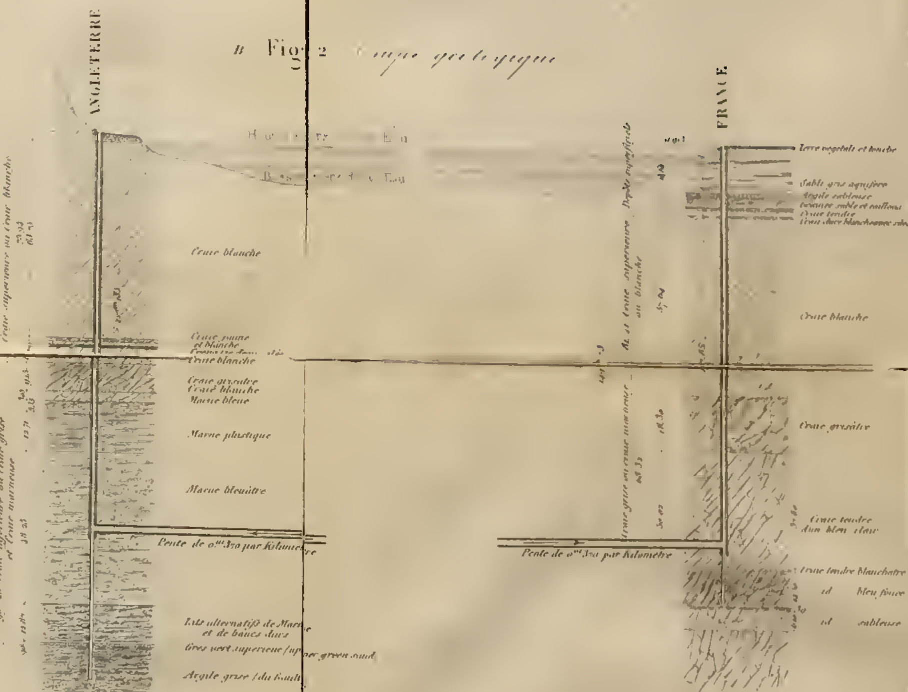
Ferrovia ad assi nella ruota automotori in piano inclinato. Sistema Pecori. In-8. pag. 4. (Novara, 1874).

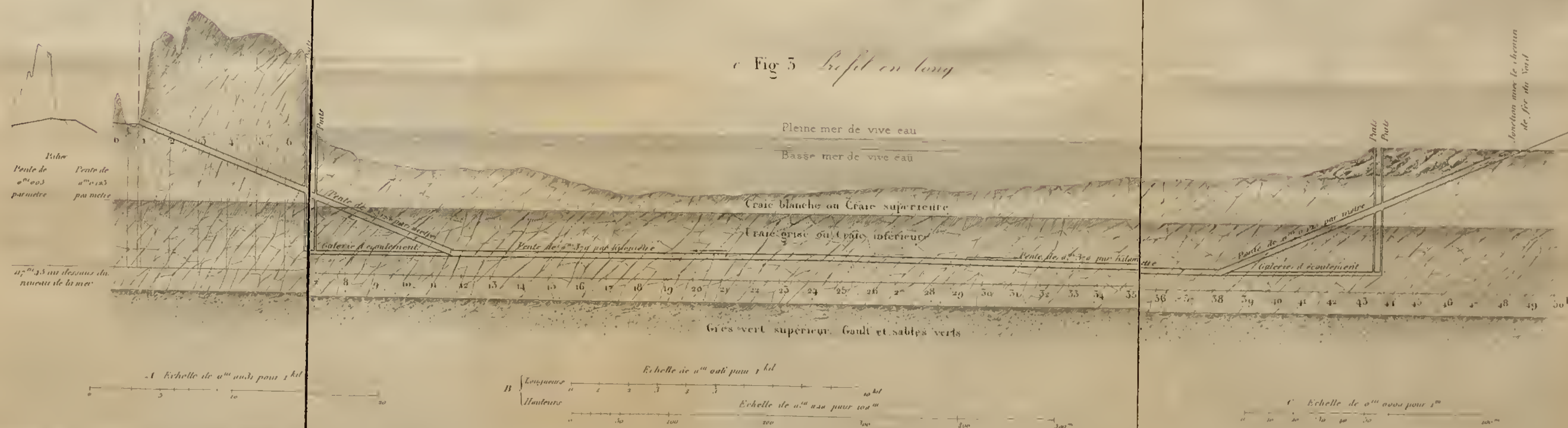
Mengoni Marinelli (Cesare Augusto). Sulla livellazione barometrica : dissertazione presentata per conseguire la laurea d'ingegnere civile. In-8. pag. 34. Ancona, 1874.

Sur le nivellement barométrique.

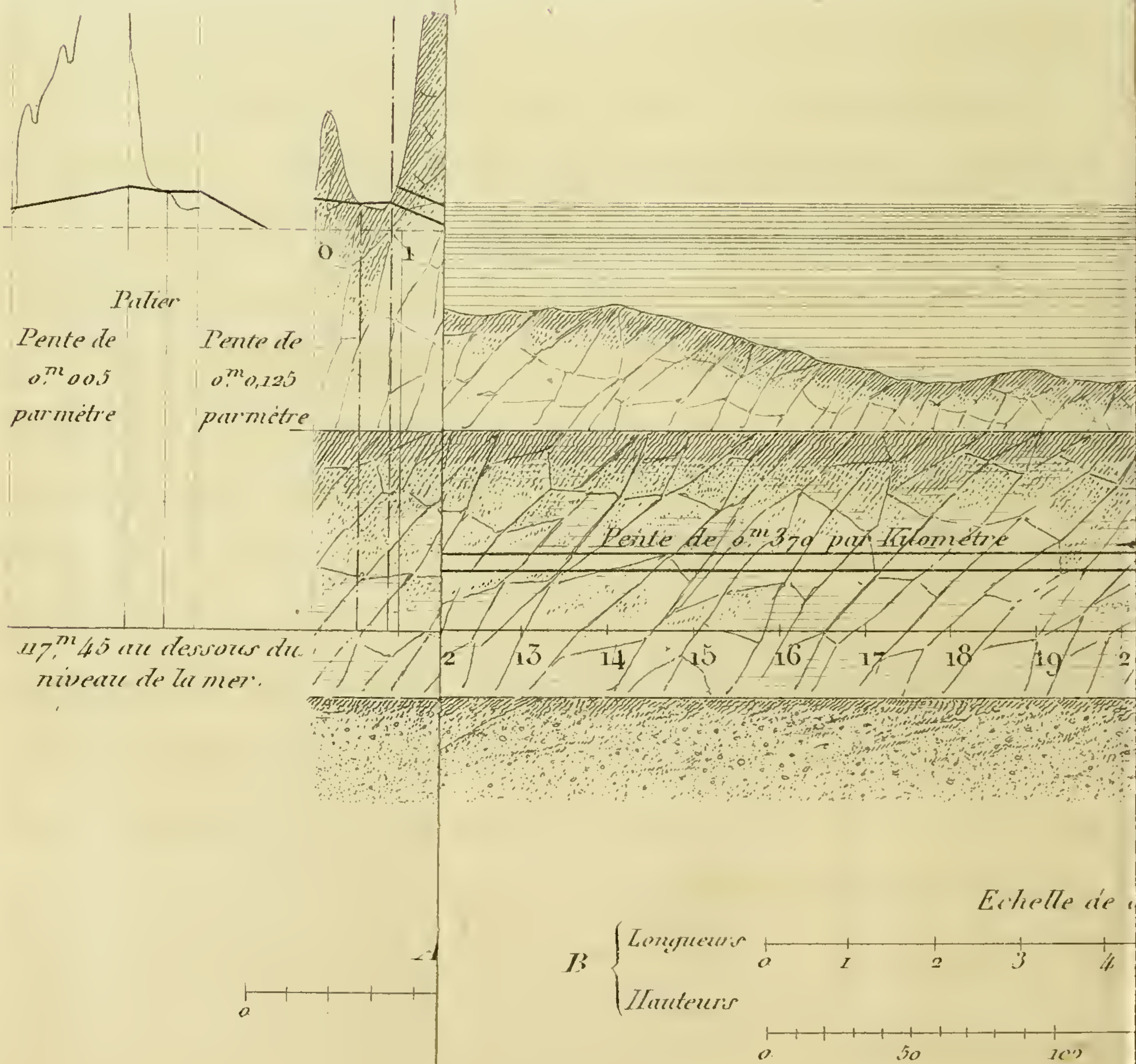
TUNNEL SOUS-MARIN ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE.







Gravé par E. Pérot



Annales des Ponts et Chaussées

N° 23

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

COMMISSION DES COMMUNICATIONS

ENTRE

LA FRANCE ET L'ANGLETERRE.

RAPPORT

A M. le Ministre des travaux publics sur la demande en concession de MM. Michel CHEVALIER et consorts (*).

Monsieur le Ministre,

C'est en 1868 que l'administration des travaux publics a été amenée pour la première fois à se prononcer sur l'opportunité d'une jonction directe à établir, par la voie d'un tunnel sous-marin, entre les chemins de fer anglais et ceux du continent. L'Exposition universelle de 1867 venait à peine de fermer ses portes et l'attention publique se portait avec complaisance vers toutes les entreprises ayant pour objet le rapprochement des peuples. Déjà le succès du percement de l'isthme de Suez était assuré ; le creusement du tunnel du mont Cenis touchait à sa fin et les ingénieurs se préparaient à ouvrir à travers le Saint-Gothard une nouvelle voie de communication entre le nord et le bassin de la Méditerranée.

Il était naturel que le Pas-de-Calais eût son tour et qu'on

(*) Inséré dans les *Annales* conformément à un avis du Conseil général des ponts et chaussées.

en vînt à se demander s'il était au-dessus des forces de l'industrie moderne de faire disparaître cette barrière maritime par laquelle l'Angleterre est séparée du continent. Longtemps la Grande-Bretagne s'était montrée fière de cet isolement comme d'une garantie d'indépendance ; mais un moment devait arriver où l'habitude des voyages rapides lui ferait supporter impatiemment la nécessité d'une traversée toujours pénible et parfois même périlleuse. La France, par son climat et par les facilités de toutes sortes qu'elle offre pour l'existence, exerce sur les Anglais une attraction puissante, qui se traduit aujourd'hui par un courant d'au moins 350.000 voyageurs traversant annuellement le détroit, et ce nombre s'accroît chaque année d'environ 3 ou 4 p. 100 (*). Or il n'est pas douteux que l'établissement d'une jonction directe entre les deux pays n'eût pour résultat d'imprimer à cette circulation une activité plus grande encore. L'échange des marchandises est d'ailleurs très-considérable entre la France et l'Angleterre, et il est permis de penser que la suppression du double transbordement nécessité par la traversée maritime serait considérée par beaucoup d'expéditeurs comme un sérieux avantage. Enfin, on ne saurait oublier que le transit d'Angleterre vers l'Orient, auquel la récente création de plusieurs lignes concurrentes menace de faire abandonner la voie française, pourrait, en grande partie au moins, nous être conservé dans le cas où nos chemins de fer communiqueraient directement avec le réseau anglais.

Mais si la France est appelée à profiter largement d'une telle jonction, l'intérêt des Anglais y est encore plus directement engagé, car ce sont eux presque uniquement qui alimentent le courant des voyageurs à travers la Manche. Aussi, quoique l'idée première soit due à un Français,

---

(*) En 1869, le nombre des voyageurs était de 327.000 pour les quatre grands ports de Calais, Boulogne, Dieppe et le Havre.

M. Thomé de Gamond, c'est en Angleterre surtout que l'opinion publique s'y est montrée favorable ; c'est là que se sont organisés les premiers comités de patronage, et c'est par des ingénieurs anglais, MM. Low, Brunlees et Hawkshaw, qu'ont été faits les travaux les plus sérieux en vue de démontrer la possibilité de l'entreprise.

Tout d'abord il s'agissait de mesurer l'obstacle à vaincre. Les sondages ont prouvé que la profondeur de la mer dans le Pas-de-Calais est inférieure à 60 mètres (*). La largeur du détroit étant de 28 kilomètres, le rapport de la profondeur à la largeur est celui de 1 à 500, c'est-à-dire si faible qu'il est presque impossible de le rendre saisissable aux yeux et que, sur un dessin fait à l'échelle, le profil du fond de la mer se confond presque rigoureusement avec la ligne de la surface. Toutefois, si minime que soit cette dépression, elle interdit, jusqu'à nouvel ordre du moins, l'établissement de piles pour le passage d'un pont. En revanche, elle permet de concevoir un tunnel descendant par des pentes modérées au-dessous du fond de la mer, pour remonter, dans les mêmes conditions, sur la rive opposée.

Telle est donc l'idée à laquelle les chercheurs intelligents devaient s'arrêter ; pour la faire sortir du domaine des utopies, il fallait prouver que la nature des roches qui forment le fond du Pas-de-Calais ne s'opposait pas à une pareille entreprise, c'est-à-dire qu'on y pouvait ouvrir un passage à travers des terrains suffisamment tendres pour se laisser facilement percer, suffisamment consistants pour écarter le danger des éboulements, enfin assez dépourvus de fissures pour qu'on n'eût pas à craindre l'irruption des eaux de la mer. La géologie seule avait qualité pour fournir cette démonstration.

Or l'étude comparée des falaises qui bordent les deux rives du Pas-de-Calais prouve que la composition du ter-

---

(*) Voir la planche 15.

rain de craie compris entre Folkestone et Douvres correspond, trait pour trait, à celle du massif crayeux du cap Blanc-Nez. Sur l'une et l'autre rive, la craie blanche à silex a pour base une assise épaisse de craie grise ou marneuse un peu mélangée d'argile, régulière dans ses allures, exempte de fissures, et reposant elle-même, par l'intermédiaire de la couche si constante connue sous le nom de grès vert supérieur (*upper green sand*), sur l'argile bleue dite *gault*. Jusque-là, la concordance est absolue sur les deux falaises, où l'on voit les diverses assises venir s'enfoncer successivement sous la mer en vertu du plongement dont elles sont affectées. Mais, à partir du gault, se développe, sur la côte anglaise, un système de sables dit *terrain wealdien*, dont il n'existe en France que des rudiments qui séparent le gault du terrain jurassique.

De plus, quoique le bas Boulonnais ait été le théâtre de bouleversements considérables, dont le dernier effort s'est fait sentir en Angleterre, à l'ouest de Folkestone, dans le soulèvement du pays wealdien, cette action ne se traduit, sur les massifs crayeux des deux côtes, que par un plongement régulier de quelques degrés vers le nord-est, plongement dont la valeur va sans cesse en diminuant à mesure qu'on s'éloigne de l'axe du soulèvement.

Dès lors il est évident que la seule formation à travers laquelle il convienne de tenter le passage est celle de la craie; mais la craie blanche est fissurée et, par suite, peut livrer passage aux eaux; c'est donc la craie grise qu'il faut choisir. Son plongement étant bien connu, tant par l'observation des falaises que par les puits profonds creusés à Calais et à Douvres, on déterminera aisément l'alignement que doit suivre le tunnel pour qu'il se maintienne dans la couche de craie grise à une profondeur donnée, cette profondeur étant définie par la condition de réserver, au-dessus de la voûte du tunnel, un massif protecteur d'une épaisseur suffisante.

Mais la craie grise est-elle continue d'une rive à l'autre? N'est-elle pas interrompue dans son parcours par un massif de roches plus anciennes ou par quelque grande fissure que la mer cacherait à nos yeux et qui serait la cause même de l'ouverture du détroit? Les sondages exécutés sur l'alignement de l'ouvrage projeté par M. Hawkshaw ont bien montré que la craie blanche existe partout au fond de la mer de Sangatte (France), à Sainte-Marguerite (Angleterre), et que les formations géologiques sous-jacentes viennent affleurer à l'ouest de cette ligne dans des conditions de régularité suffisantes. De plus, le profil si peu accentué du fond de la mer semble exclure l'idée d'un grand bouleversement; divers indices portent à croire que l'ouverture, géologiquement assez récente, du Pas-de-Calais, est due à une simple érosion, résultant peut-être d'un changement dans le régime des mers voisines. En général, l'opinion des géologues est contraire à l'hypothèse d'une fracture importante et plusieurs même pensent que si un accident de ce genre existait, la fracture pourrait fort bien avoir été remplie ultérieurement par des matériaux suffisamment imperméables. Malgré tout, on ne saurait se dissimuler que c'est là que réside essentiellement l'*aléa* de l'entreprise et, quels que soient les motifs de probabilité qu'on peut faire valoir, cette question, délicate entre toutes, ne sera tranchée que le jour où une galerie aura traversé le détroit de part en part. Seulement, cette réserve une fois faite, il faut reconnaître que, vu la nature et l'allure de la craie grise, supposée continue, un travail de creusement se sera rarement présenté dans des conditions plus favorables.

Quant aux détails du percement, au mode d'exécution, à la sortie des déblais, à l'aérage, sans doute il faut prévoir des sujétions inusitées, résultant de la longueur de l'ouvrage et de l'impossibilité de l'attaquer autrement que par les deux bouts; mais on peut dire sans témérité que rien de tout cela ne dépasse les ressources de l'industrie moderne.

C'est dans ces conditions que le problème se posait en 1868, lorsque le comité de patronage présidé par lord Richard Grosvenor vint, pour la première fois, s'adresser au gouvernement français. Le projet de tunnel dressé par MM. les ingénieurs Hawkshaw, Low et Brunlees satisfaisait aux conditions de tracé qui viennent d'être énoncées; des sondages exécutés, tant sur les deux rives que sur le fond de la mer, avaient fourni des données sur la composition et l'allure souterraine du massif crayeux. Le programme sommaire des travaux à exécuter, leur division en deux périodes, dont une de travaux préparatoires, paraissent sagement conçus. Le devis lui-même ne présentait rien d'inacceptable. Aussi la commission d'examen nommée par le ministre des travaux publics et présidée alors par le regretté M. Combes eût-elle été unanimement favorable à l'adoption du projet si la responsabilité financière de l'État n'y avait pas été engagée. En effet, à cette époque, les demandeurs sollicitaient de chacun des deux gouvernements de France et d'Angleterre une subvention de 25 millions sous la forme d'une garantie d'intérêts. Le rapport de la commission, en date du 2 mars 1869, constate que le principe de cette subvention, accepté par trois membres de la commission, fut repoussé par les trois autres, au nom de leur expérience d'ingénieurs, qui leur interdisait, pensaient-ils, d'engager l'État dans une entreprise aussi aléatoire. Le même partage se renouvela dans les conseils du ministère et, tandis que le conseil général des mines, plus confiant dans le succès, concluait, par son avis du 30 avril 1869, à l'adoption de la proposition, le conseil général des ponts et chaussées émettait, le 25 mars 1869, l'avis qu'en l'état il n'y avait pas lieu d'accorder la concession demandée, estimant que d'ailleurs, si l'intérêt politique l'exigeait, les gouvernements pourraient faire à leurs propres frais et pour leur compte les travaux d'exploration nécessaires.

Les choses en étaient là quand la guerre vint reléguer le projet de tunnel au dernier plan. Ce n'est qu'en 1872 que la question fut de nouveau reprise. L'administration, saisie à cette époque d'un assez grand nombre de demandes, reconstitua la commission d'examen sous la présidence de M. Collignon et lui renvoya, avec divers projets de ponts et de tubes-siphons qui furent jugés inexécutables, un projet de tunnel présenté par M. Austin. Bien que ce dernier ne fît intervenir en rien le concours financier de l'État, la commission fut d'avis que son projet, d'ailleurs à peine étudié, ne devait pas être pris en considération, et, à cette occasion, le rapport du 21 décembre 1872 constatait même que, depuis la présentation du projet de MM. Hawkshaw et consorts, il semblait que l'étude de la question eût reculé au lieu d'avancer.

Mais vers la même époque, le comité de lord Grosvenor entrait de nouveau en pourparlers avec le gouvernement français. L'administration jugea qu'il y avait lieu de faire un pas décisif et, par une lettre en date du 23 août 1873, M. Deseilligny, alors ministre des travaux publics, prescrivit l'ouverture d'une enquête dans le Pas-de-Calais. L'enquête fut terminée le 14 décembre 1873. Le 18 juin 1874, l'administration renvoyait le dossier de l'enquête à l'examen de la commission des communications entre la France et l'Angleterre, reconstituée, sous la présidence de M. Kleitz, avec l'adjonction de nouveaux membres (*).

Le dossier sur lequel la commission est appelée à délibérer se compose des pièces suivantes : arrêté préfectoral ouvrant l'enquête d'utilité publique sur le projet du comité

(*) La commission se compose actuellement (13 juillet 1874) de de MM. Kleitz, inspecteur général des ponts et chaussées, président; Drœling, Kolb, Lalanne, inspecteurs généraux des ponts et chaussées; Du Souich, Lefébure de Fourcy, inspecteurs généraux des mines; le contre-amiral Fisquet; de la Roche Poncié, ingénieur hydrographe en chef; de Lapparent, ingénieur ordinaire des mines, secrétaire, rapporteur.

anglo-français, représenté par lord Grosvenor et M. Michel Chevalier ; pièces soumises à l'enquête par les demandeurs ; registres des observations et dires recueillis dans les divers arrondissements du Pas-de-Calais ; avis des chambres de commerce de France ; procès-verbaux de la commission d'enquête.

Les pièces produites par les demandeurs consistent en une carte indiquant le raccordement du chemin de fer sous-marin projeté avec les voies existantes, accompagnée d'une coupe menée transversalement au détroit et d'une notice explicative. D'après la coupe, le tunnel doit se composer de trois parties distinctes : une partie centrale ayant 26 kilomètres de longueur, et deux rampes d'accès de 11 kilomètres chacune, ayant une pente comprise entre 12,5 millimètres et 13,15 millimètres par mètre. La partie centrale elle-même est légèrement arquée et se décompose en deux portions égales, inclinées chacune de 0^m,000378 par mètre, de manière à diriger leurs eaux vers l'origine des rampes d'accès. De ces points partent deux galeries à section réduite, ayant environ 4 kilomètres et demi de longueur, et faisant suite respectivement aux deux éléments de la partie centrale du tunnel : ces galeries amènent les eaux de la partie centrale et celles des rampes d'accès au fond de deux puits creusés sur les deux côtes et destinés à être munis de machines d'épuisement.

Les avis recueillis dans l'enquête ont été partout favorables. Les seules réserves formulées ont trait à la nature de la concession et aux droits à percevoir. 76 chambres de commerce avaient été consultées : 73 ont répondu, et, parmi elles, 27 ont demandé qu'il ne soit pas créé de monopole, que l'État stipule pour lui la faculté de rachat et que les tarifs soient assujettis à un maximum ; de plus, les chambres de commerce maritime du Pas-de-Calais réclament l'exécution de travaux propres à mettre la navigation en état de soutenir la concurrence du tunnel.

La commission d'enquête dans le Pas-de-Calais a tenu deux séances et, après avoir entendu les demandeurs et s'être entourée des lumières des personnes compétentes, elle a conclu, par son avis du 14 décembre 1873, en faveur de la déclaration d'utilité publique. En même temps, elle exprimait le vœu que l'administration prît les mesures nécessaires pour rendre les ports de Boulogne et de Calais accessibles, à toute heure de marée, aux bâtiments du plus fort tonnage. Enfin l'avis de la commission constate également qu'elle a entendu, à titre de dires à l'enquête, les observations présentées par M. Low, primitivement associé à M. Hawkshaw, mais aujourd'hui séparé du comité anglo-français, et auteur d'un projet basé essentiellement sur la construction de deux galeries distinctes.

Appelée par le ministre à émettre un avis sur ces conclusions, la commission devait tout d'abord examiner si l'enquête satisfaisait aux prescriptions de la loi. L'ordonnance du 18 février 1834, qui règle la procédure en matière d'enquêtes d'utilité publique, spécifie que les demandeurs doivent produire un avant-projet avec plans et coupes, une notice explicative et un tarif des droits à percevoir. Or les pièces soumises à l'enquête se composent de deux dessins sommaires auxquels il est bien difficile d'accorder le nom d'avant-projet, accompagnés d'une notice ayant plutôt le caractère d'un article de journal et où les tarifs font absolument défaut. Sans doute on ne saurait se montrer exigeant vis-à-vis d'une entreprise sans précédents connus et pour laquelle il est impossible d'arrêter, dès aujourd'hui, un plan de campagne défini. Toutefois, l'insuffisance manifeste des documents produits devait d'autant moins échapper à la commission que plusieurs de ses membres, ayant pris part à l'examen de 1868-1869, pouvaient se rappeler qu'à cette époque les pièces mises sous leurs yeux offraient un degré de précision plus élevé. Aussi, bien que

le nom et la position des demandeurs fussent propres à inspirer toute confiance dans le caractère sérieux de l'entreprise, la commission n'a pas cru possible de faire fléchir l'objection légale, et elle a été d'avis qu'en l'état et quant à présent, il n'y avait pas lieu de prononcer la déclaration d'utilité publique.

De graves motifs d'un autre ordre militaient d'ailleurs en faveur de cette solution. Lorsqu'un projet quelconque de travaux publics est soumis à l'enquête, le succès définitif de l'œuvre n'est jamais mis en question; le travail peut s'exécuter dans des conditions plus ou moins faciles, la dépense peut excéder beaucoup les prévisions; mais il n'y a généralement aucun motif de douter que l'exécution puisse être poursuivie jusqu'à bonne fin. Il n'en est pas de même dans le cas présent. Depuis 1868, les demandeurs n'ont exécuté aucun travail ni fait aucune recherche qui aient pu augmenter, aux yeux des juges compétents, les chances de succès de l'entreprise. Elle demeure toujours avec ce caractère essentiellement aléatoire que lui imprime la rencontre possible d'un accident insurmontable. Dans ces conditions, à quoi pourrait s'appliquer la déclaration d'utilité publique? Personne ne prétendra qu'il puisse être à propos de déclarer platoniquement l'utilité d'une jonction quelconque entre les chemins de fer anglais et ceux du continent. La déclaration doit porter sur un système de jonction défini. Or n'est-il pas dangereux de provoquer une telle mesure à l'égard d'un projet dont la possibilité même n'est pas absolument démontrée?

Mais ce n'est pas tout; le travail projeté intéresse à la fois le gouvernement français et le gouvernement anglais. On ne saurait admettre que l'exécution définitive en soit abordée avant que les deux puissances se soient mises d'accord pour investir les demandeurs de pouvoirs réguliers. Sans parler de la question de la propriété du fond de la mer, qui, du reste, n'a qu'un intérêt purement théorique,

la construction d'un ouvrage reliant la France à l'Angleterre nécessite un accord diplomatique par lequel toutes les difficultés militaires, politiques et économiques devront être résolues à l'avance. Il est vrai qu'aux termes de la lettre ministérielle du 18 juin 1874, le cabinet de Londres, consulté par le ministre des affaires étrangères, a déclaré qu'en principe il ne voyait aucune raison de s'opposer aux projets présentés, tout en refusant d'admettre, en aucun cas, le monopole réclamé par la Société. Mais cette adhésion a sans doute paru bien insuffisante aux demandeurs, car, ainsi qu'ils l'ont eux-mêmes déclaré devant la commission, ils ont renoncé pour le moment à l'idée d'obtenir une concession basée sur l'entente préalable des deux puissances. Il leur a paru convenable, dans l'intérêt de leur cause, de diviser le comité de patronage en deux groupes, l'un français, l'autre anglais, constitués séparément au point de vue légal, quoique réunis sous une direction technique commune et formant deux sociétés de recherches dont chacune conforme ses agissements à la législation de son pays. De cette façon, tandis que l'enquête du Pas-de-Calais visait la demande du comité anglo-français, le gouvernement n'aurait plus aujourd'hui devant lui que le groupe français, représenté par MM. Michel Chevalier et consorts, affirmant d'ailleurs leur entente avec le groupe anglais de lord Richard Grosvenor, et la convention internationale reconnue nécessaire pour l'achèvement du tunnel n'interviendrait qu'après l'exécution des travaux préparatoires par les demandeurs déjà munis de la concession en France. Pour justifier cette procédure, on invoque l'exemple des chemins de fer internationaux, pour lesquels les conventions n'interviennent qu'au moment de la mise en exploitation.

Telle n'est pas, sans doute, la solution que la commission eût préférée ; à ses yeux, il est bien difficile qu'un travail aussi foncièrement international que le chemin de fer

sous-marin puisse être autorisé par le gouvernement français sans une entente préalable avec l'Angleterre. Néanmoins la commission n'a pas cru qu'il fût de son rôle de peser sur les demandeurs pour leur faire abandonner le terrain sur lequel ils avaient cru devoir se placer; elle a donc résolu de se prêter à la discussion de cette solution provisoire, mais elle y trouve un argument de plus pour conseiller l'ajournement de la déclaration d'utilité publique.

L'utilité publique n'étant pas déclarée, il n'y a plus lieu à concession définitive. D'un autre côté, il est difficile, pour ne pas dire impossible, de demander à une société de recherches d'entreprendre des travaux pour lesquels elle prévoit une dépense d'au moins 4 millions, sans lui garantir en même temps des droits propres à lui ménager le concours des capitalistes. C'est pourquoi la commission a pensé qu'on pouvait accorder aux demandeurs une concession *éventuelle*, leur garantissant le droit à la concession définitive dans le cas où certains travaux d'essai, convenus à l'avance, auraient été exécutés, sous la condition que la compagnie aurait à s'entendre, dans un délai fixé, avec une société anglaise dûment autorisée pour le même objet.

Au point de vue légal, cette solution est très-admissible; fréquemment on concède, à titre éventuel, à des compagnies de chemins de fer, des lignes pour lesquelles l'utilité publique n'a pas été prononcée, la déclaration devant avoir lieu ultérieurement à la suite d'une enquête. Une concession éventuelle est d'ailleurs un contrat formel qui engage les parties; elle constitue donc, au profit des concessionnaires, un droit sérieux, une garantie efficace. Armée de ce droit, la société de recherches, représentée par MM. Michel Chevalier et consorts, pourra exécuter librement les travaux qu'elle projette, et plus tard, quand il y aura lieu d'imprimer à la concession un caractère définitif, un complément d'enquête permettra de déclarer l'utilité publique.

Se plaçant donc dans cet ordre d'idées, la commission,

saisie directement par MM. Michel Chevalier et Léon Say d'un projet de convention avec le ministre des travaux publics, a consenti à le prendre pour base de ses délibérations mais en spécifiant, dès le début, que la concession était faite à titre éventuel et qu'elle ne deviendrait définitive qu'après l'accomplissement des formalités préalables et lorsque la compagnie aurait exécuté un certain ensemble de travaux préparatoires propres à démontrer la possibilité de l'entreprise.

Dès lors il pouvait paraître inutile d'entrer dans plus de détails et de définir, dès à présent, les conditions principales de la future concession définitive. Cependant, les demandeurs ayant formulé, dans leur projet, un certain nombre de clauses qu'ils regardaient comme favorables à leurs intérêts, la commission a cru convenable d'en tenir compte. C'est ainsi qu'elle propose de faire droit dès aujourd'hui à la demande d'un privilége dont la durée serait fixée à trente ans. Il faut prévoir, en effet, le cas où le succès démontré de l'entreprise susciterait des sociétés rivales dans le seul but de faire échec à la compagnie concessionnaire. La commission a pensé qu'il convenait de décourager à l'avance toute manœuvre de ce genre et que l'attribution d'un privilége de trente ans constituait, en faveur des demandeurs, une protection qui n'avait rien d'excessif.

Le projet des demandeurs stipulait, pour les concessionnaires, l'autorisation d'établir un tarif maximum quintuple de celui du chemin de fer du Nord, acceptant, pour tout le reste, les clauses et conditions du cahier des charges des chemins de fer. La commission, tenant compte des frais probables de l'entreprise, n'avait rien à objecter contre le tarif demandé, et elle en eût volontiers proposé la ratification immédiate, bien sûre que la concurrence de la navigation suffirait à maintenir la compagnie dans des limites raisonnables. Malheureusement il n'est pas possible de viser, dans un acte de concession, un tarif qui n'a pas été

soumis à l'enquête. La commission, tout en accordant, en principe, son adhésion à cette clause, s'est donc vue dans la nécessité de la réserver pour le cahier des charges de la concession définitive.

En revanche, elle a accepté sans objections les clauses de renonciation stipulées au profit des concessionnaires, et contre-balancées d'ailleurs par le droit reconnu à l'État de prononcer la déchéance sous certaines conditions. Elle a cru seulement devoir faire courir les délais à partir de la date de la signature de la convention et non à partir du jour de la concession définitive, afin qu'il fût bien entendu que cet acte décisif du Gouvernement français n'interviendrait qu'après la solution de toutes les difficultés résultant du caractère international de l'ouvrage projeté.

Parmi ces difficultés, il en est une que la commission ne croit pas devoir passer sous silence ; il est évident que le tunnel, une fois construit, aura une importance stratégique considérable, plus grande encore que celle qui s'attache d'ordinaire aux ouvrages construits dans la zone frontière. Le tunnel fournissant un moyen facile et rapide d'opérer entre l'Angleterre et le continent un échange de renforts de toute nature, sa possession ne pourra manquer, en cas de guerre, d'être chaudement disputée par les belligérants. Il conviendra donc que l'État fasse à cet égard toutes ses réserves et prenne les mesures voulues pour pouvoir élever au voisinage de l'orifice du tunnel les ouvrages de fortification nécessaires. Par suite, la commission pense que l'autorisation d'exécuter les travaux définitifs ne peut être donnée qu'après des conférences entre les administrations de la guerre, de la marine et des travaux publics.

Il restait à préciser les obligations contractées par les demandeurs relativement aux travaux préparatoires. Dans ce but, la commission a entendu, au nom de sir John Hawk-

shaw, ingénieur du comité de patronage, MM. les ingénieurs Bergeron et Lavalley.

Ces ingénieurs ont d'abord mis sous les yeux de la commission, avec la coupe du tunnel et celle des forages exécutés sur les deux côtés, une carte indiquant l'emplacement des nombreux sondages faits en mer, sur la direction de l'ouvrage projeté, par les soins de M. Hawkshaw. Cette carte, déjà produite par les demandeurs en 1868, fait ressortir la continuité de la craie blanche suivant le tracé même du tunnel, et donne un premier aperçu de l'affleurement de l'argile du gault, à l'ouest de ce tracé.

La commission a reconnu que ces documents, joints à une notice rédigée par les ingénieurs, pouvaient être regardés comme constituant un avant-projet suffisant.

Relativement aux travaux préparatoires, il a été convenu que ces travaux devaient être conçus en vue d'ajouter aux probabilités du succès de l'entreprise, et qu'on ne devait pas se borner à les envisager comme de simples reconnaissances destinées surtout à attirer l'attention du public incompétent sur une œuvre à laquelle un grand concours de capitaux sera bientôt nécessaire. Il faut d'abord que les puits projetés sur chaque côté et les galeries conduites à partir de ces puits dans la direction de la mer, soient placés de manière à préciser exactement les conditions de nature, d'épaisseur et d'allure de la craie grise, dans laquelle le tunnel doit se maintenir ; en même temps, ces travaux fourniront des indications précieuses sur le fonctionnement des machines perforatoires.

Mais la commission attache un prix particulier à la question des sondages. En effet, le succès final de l'œuvre paraissant dépendre surtout de la continuité du banc de craie grise, c'est cette continuité qu'il faut chercher à mettre en évidence. Pour cela, il existe un moyen qui, pour être indirect, n'en offre pas moins d'assez sérieuses garanties. La craie grise, en vertu de son plongement,

affleure sous la mer un peu à l'ouest de la ligne du tunnel ; au delà doit affleurer l'assise, toujours facilement reconnaissable, du grès vert supérieur, formée d'une craie mouchetée d'une infinité de points verts; cette assise elle-même repose sur l'argile bleue du gault, laquelle se distingue en général aisément des marnes argileuses situées à la base du système crayeux. Par suite, des sondages exécutés à la lance ou par tout autre moyen dans le voisinage de la ligne d'affleurement du grès vert supérieur permettront, s'ils sont faits avec les soins désirables, de dessiner cette ligne sur une carte. Si elle ne subit que des inflexions légères, on sera autorisé à conclure qu'aucun accident sérieux n'a dérangé la craie grise qui la surmonte. Si, au contraire, un changement brusque de direction se manifeste en un point, il faudra y voir la trace d'une cassure dont le prolongement sur la ligne du tunnel devra être surveillé plus tard avec un soin particulier. Ainsi, l'allure de la ligne d'affleurement du grès vert à son contact avec l'argile du gault, fournira un critérium à peu près certain pour juger de la continuité de la craie grise.

Du reste, les ingénieurs du comité ont reconnu sans peine l'importance de cet ordre d'idées, et l'on ne saurait douter de leur fidélité à remplir un programme à l'accomplissement duquel ils ont eux-mêmes le plus grand intérêt.

Sous les réserves qui viennent d'être indiquées, la commission ne pouvait hésiter à conclure en faveur du projet. L'honorabilité des demandeurs aussi bien dans le groupe anglais que dans le groupe français, la réputation éprouvée des ingénieurs à qui doit être confiée la direction des travaux, offraient toutes les garanties désirables. La commission n'a donc porté son attention que d'une manière très-sommaire sur le mode d'exécution des travaux définitifs, et seulement pour se convaincre qu'en dehors du cas d'impossibilité qui résulterait d'une trop grande affluence

des eaux, les moyens d'action seraient partout à la hauteur des difficultés à vaincre. A ce point de vue, la commission n'a pas cru qu'elle eût à se prononcer sur les observations communiquées à la commission d'enquête par M. Low, relativement à l'opportunité de construire deux galeries et deux tunnels. Quant à la dépense probable de l'entreprise et à la rémunération qu'on en pourrait attendre en cas de succès, ce sont des questions qu'il est impossible de résoudre avec les éléments dont nous disposons aujourd'hui. Mais l'incertitude qui plane encore sur ces matières ne doit pas être invoquée pour entraver une œuvre dont l'utilité est dès aujourd'hui hors de doute.

Conformément aux considérations qui viennent d'être exposées, la commission a adopté l'avis motivé suivant :

La commission,

Après avoir pris connaissance de toutes les pièces du dossier,

Après avoir entendu les représentants et les ingénieurs du comité français,

En ce qui concerne la déclaration d'utilité publique :

Considérant que les pièces produites dans l'enquête sont insuffisantes et ne satisfont pas aux prescriptions de l'ordonnance du 18 février 1834 ;

Considérant, en outre, que le caractère international de l'ouvrage projeté rend nécessaire un accord préalable entre les Gouvernements intéressés ;

Est d'avis qu'il n'y a pas lieu, quant à présent, de prononcer la déclaration d'utilité publique.

En ce qui concerne la demande en concession :

Considérant qu'il convient de faciliter la tâche des demandeurs en leur accordant une concession éventuelle, subordonnée à l'exécution de travaux préparatoires propres à démontrer la possibilité de l'entreprise ;

Considérant, d'autre part, que l'importance stratégique du tunnel exige l'intervention des services de la Guerre et de la Marine ;

Est d'avis qu'il y a lieu :

1° De s'assurer, tout d'abord, de l'adhésion des ministres de la Guerre et de la Marine, et, à défaut de cette adhésion immédiate, de procéder aux conférences mixtes exigées par le décret du 16 août 1853;

2° De soumettre ensuite à l'approbation de l'Assemblée nationale le projet de convention ci-après :

PROJET DE CONVENTION (*).

I.

Concession éventuelle. — Le ministre de Travaux Publics s'engage, au nom de l'État, à concéder à MM. . . . . dans le cas où l'utilité publique en serait reconnue, après l'accomplissement des formalités prescrites par la loi du 3 mai 1841, un chemin de fer partant d'un point à déterminer sur la ligne de Boulogne à Calais, pénétrant sous la mer, et se dirigeant vers l'Angleterre, à la rencontre d'un pareil chemin parti de la côte anglaise dans la direction du littoral français.

II.

Travaux préparatoires. — De leur côté, MM. . . . . . . s'engagent à exécuter, dans un délai qui ne pourra dépasser trois ans, suivant un programme qui sera arrêté par le ministre des Travaux publics, les concessionnaires entendus,

(*) Le projet de convention proposé par la commission a été adopté par le conseil général des ponts et chaussées dans sa séance du 23 juillet 1874, sauf une classification différente des articles et quelques changements de rédaction. On donne ici le texte formulé dans la délibération du conseil.

et jusqu'à concurrence d'une somme de 2 millions au moins, les travaux préparatoires de toute sorte, tels que recherches, puits, galeries, sondages, etc., qui seront jugés nécessaires pour fixer, tant l'administration que les concessionnaires, sur les conditions techniques de l'opération, la possibilité de l'entreprendre avec des chances sérieuses de succès, et les moyens à mettre en œuvre pour en surmonter les difficultés.

III.

Entente avec une compagnie anglaise. — MM. . . . . . s'engagent, pareillement, à se mettre en rapport avec une société anglaise munie des pouvoirs nécessaires pour entreprendre le chemin de fer sous-marin partant du littoral anglais pour aboutir en France, et à conclure une entente avec ladite société dans le but d'exécuter, d'un commun accord, l'ensemble du chemin de fer international.

IV.

Délais de déchéance et de renonciation. — Faute par MM. . . . . d'avoir établi l'accord mentionné en l'article qui précède, au plus tard dans un délai de cinq ans à dater de ce jour, les concessionnaires seront déchus du bénéfice de la présente convention.

Si après un délai de trois ans, compté également à partir de ce jour, MM. . . . . reconnaissent l'impossibilité de conclure ledit accord, ils pourront renoncer à poursuivre l'exécution de la convention actuelle, et celle-ci, sur leur déclaration conforme, sera considérée comme nulle et non avenue.

V.

Concession non subventionnée. — La concession est accordée sans subvention ni garantie d'intérêt de la part de l'État.

Ajournement des tarifs et cahiers des charges. — Les

clauses et conditions du cahier des charges, ainsi que le tarif des droits à percevoir, seront réglés après enquête, au moment de la concession définitive, les concessionnaires entendus.

VI.

Concession définitive. — Après l'accomplissement des conditions prévues aux articles 1 et 2, si d'ailleurs MM . . . . justifient de l'entente exigée par l'article 3 avec une compagnie collatérale formée en Angleterre, la présente concession éventuelle sera convertie en concession définitive.

Cette concession sera faite pour une durée de quatre-vingt dix-neuf ans, à partir de la mise en exploitation du chemin sous-marin.

L'État s'engage à ne concéder, pendant trente ans comptés de la même époque, aucun autre chemin de fer partant du littoral français et pénétrant sous la mer, en direction de l'Angleterre.

VII.

Formation de la compagnie anonyme. — Dès que la concession définitive aura été accordée, les concessionnaires s'obligent à former, au siége social de Paris, une compagnie anonyme qui aura pour but d'assurer, de concert avec la société investie de la concession anglaise, la construction, l'exploitation et l'entretien du chemin de fer sous-marin.

VIII.

Abandon éventuel de la concession. — Les concessionnaires pourront, à toute époque de l'exécution des travaux, tant préparatoires que définitifs, renoncer au bénéfice de la concession dans le cas où l'impossibilité matérielle de continuer lesdits travaux serait dûment constatée.

Ce cas échéant, tout les ouvrages exécutés resteront la propriété de l'État, sans que, pour cela, les concessionnaires puissent être admis à réclamer aucune indemnité.

Il en serait de même si la concession définitive ne pouvait avoir lieu faute par la compagnie de souscrire aux conditions de tarif qui seront arrêtées par l'administration conformément à l'article V.

Paris, le 13 juillet 1874.

Le président de la Commission,
Signé Kleitz.

Les membres de la Commission,
Signé Droeling, Kolb, Lalanne, du Souich, Fisquet, de la Roche-Poncié; de Lapparent, *secrétaire-rapporteur.*

N° 24

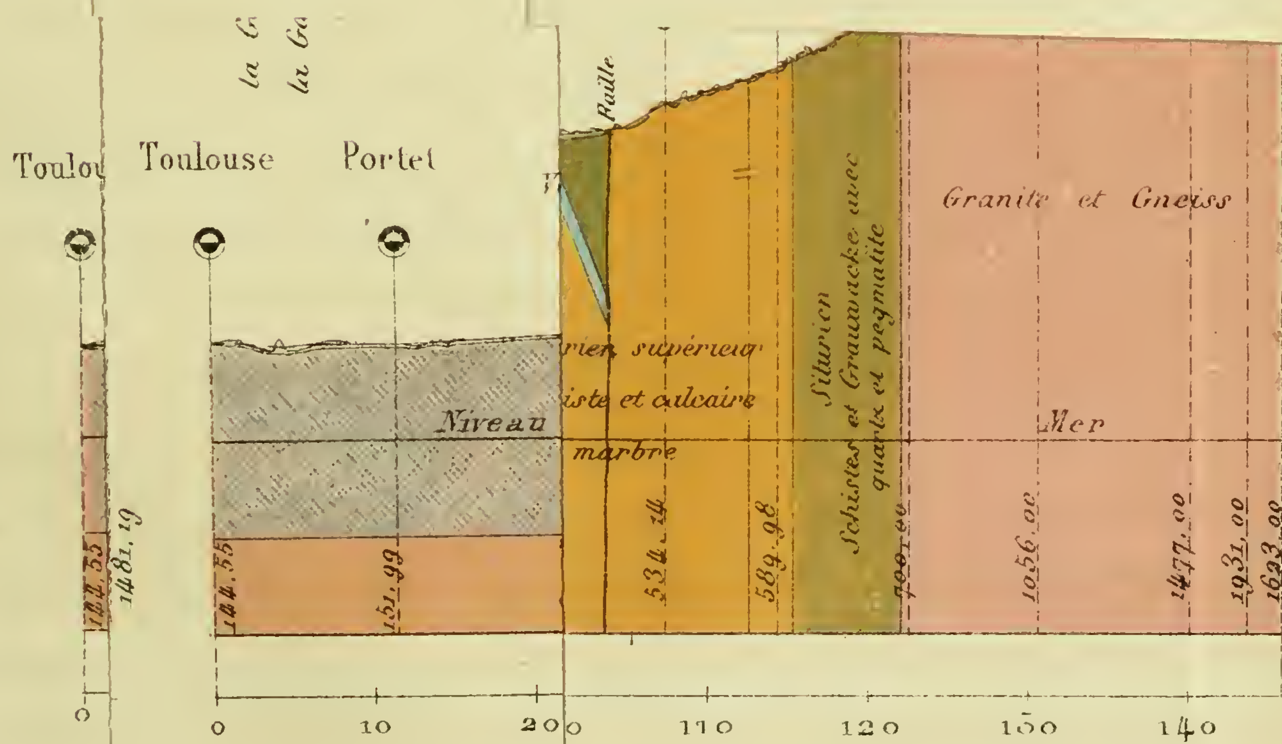
PASSAGES ET GÉOLOGIE

DANS LES PYRÉNÉES CENTRALES.

NOTE

Par M. MILLE, inspecteur général des ponts et chaussées.

M. l'ingénieur en chef Decomble a étudié avec une habile et heureuse persévérance le massif central des Pyrénées. Il ne s'agit pas seulement de remonter les vallées principales par des branches de chemin de fer détachées de la ceinture qui suit le pied de la chaîne, de Perpignan à Bayonne; il faut en outre fixer la meilleure voie de transit vers l'Espagne dans cette région difficile. Nous avons été autorisés à placer sous les tracés le levé géologique du terrain. Quoique l'ensemble des études de M. Decomble ne soit pas achevé, nous croyons utile de mettre les lecteurs des *Annales* au courant d'une question pleine d'intérêt, la traversée centrale des Pyrénées. Nous pensons qu'on y verra en outre une preuve nouvelle de ce que l'on disait dernièrement ici même à propos du livre de M. Belgrand : la *Seine*. « Aujourd'hui, l'ingénieur doit être non-seulement géomètre, mais géologue. » En effet, les solutions de jonction internationale, le mont Cenis, le Gothard, le Simplon, le tunnel sous-marin du Pas-de-Calais, relèvent de la géologie, parce que, suivant l'idée supérieure d'Élie de Beaumont, ce sont les déformations géologiques qui ont façonné le relief topographique; plus tard ce sont les torrents de l'époque glaciaire qui ont créé par leurs déjections le sol cultivable,



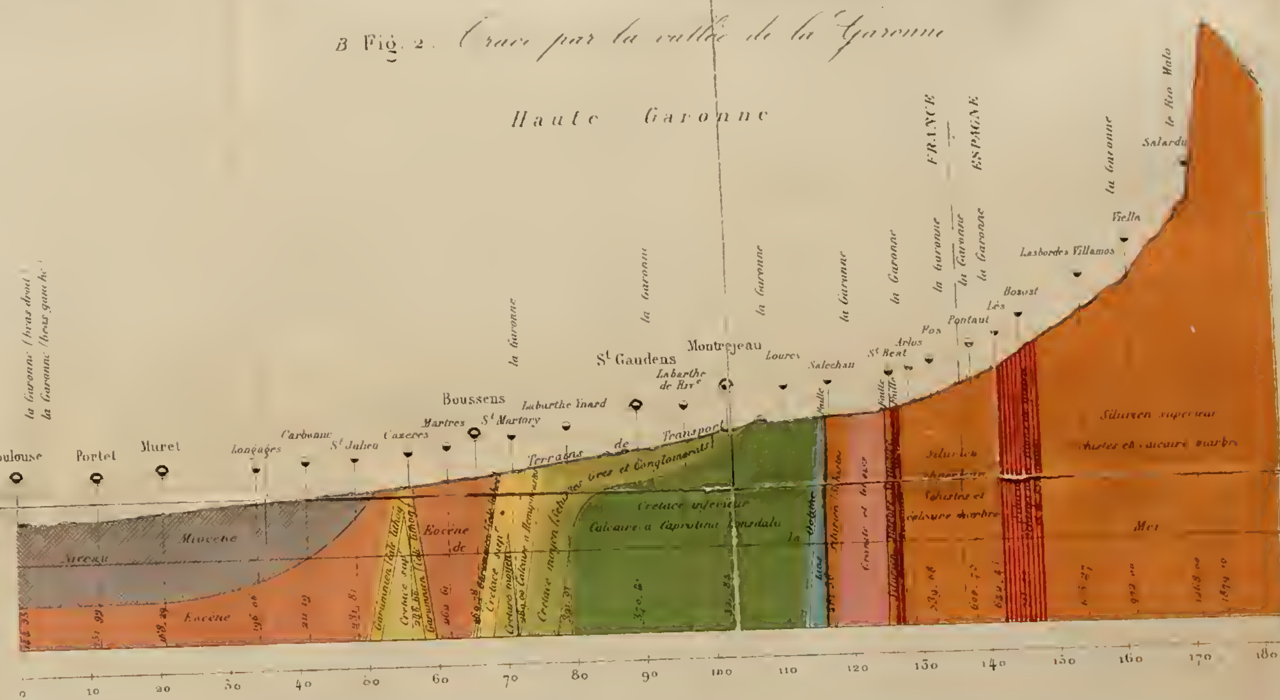
Annales d

Gravé par E. Pérot

A. Fig. 1. Carte de la région Pyrénéenne



B Fig. 2. Tracé par la vallée de la Garonne



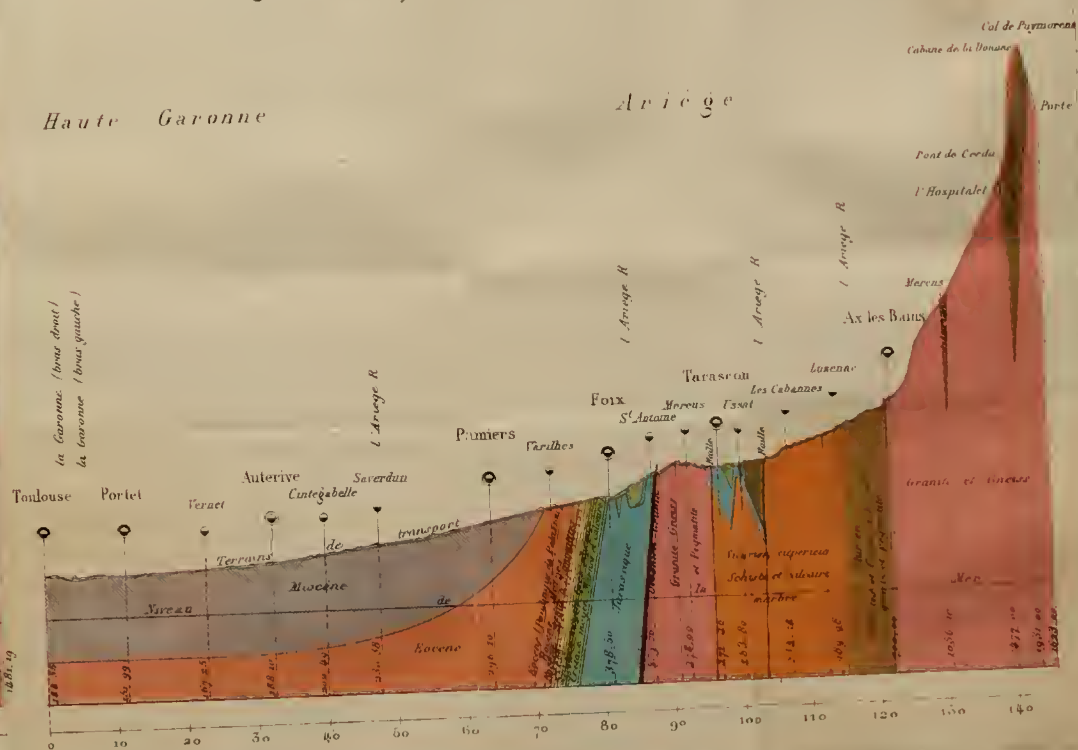
B Fig. 3. Tracé par les vallées de la Garonne et de la Neste



Echelle A de 0m,000333 pr 1km (1/3 000 000)

Echelle B
Longueurs 0m,01 pour 10km (1/1 000 000)
Hauteurs 0m,02 pour 1000m (1/50 000)

B Fig. 4. Tracé par la vallée de l'Ariège



Gravé par E. Perot

et creusé les chemins par lesquels l'homme a pu remonter de la plaine à la montagne.

1. *Exposé.* — Les Pyrénées sont aujourd'hui franchies par deux lignes de littoral.

La route de Paris à Madrid suit de Bordeaux à Bayonne l'Océan, à travers les landes de Gascogne; elle passe la Bidassoa, puis l'Èbre vers ses sources, et se développe par Burgos sur le plateau des Castilles. Ce fut la route des armées de Napoléon : c'est aujourd'hui, avec le chemin du nord de l'Espagne, la ligne des express et des voyageurs.

A l'opposé du chemin du Nord qui prend la chaîne par l'ouest, la ligne du midi en France repart de Perpignan pour se prolonger par Port-Vendres sur la côte orientale, marche vers Barcelone, et atteint Valence. C'est la ligne de la Méditerranée : elle fut la route ancienne vers l'Italie, celle que choisit Annibal.

Reste à ouvrir un passage à travers le massif central, et ici l'on retrouverait la trace des invasions arabes qui empruntaient d'ordinaire la voie des vallées de l'Aragon et de la Navarre.

2. *Constitution géologique des Pyrénées.* — Quatre rivières principales descendent de la chaîne des Pyrénées : l'Ariége, la Garonne, la Neste et le Gave de Pau joint à l'Adour. Les trois premières sont actuellement représentées par des profils exprimant aux échelles du 1/80.000 et du 1/320.000 les formations que rencontrent les tracés; le Gave de Pau manque seul, et ne sera prêt que l'an prochain. Déjà pourtant, en comparant les profils de l'Ariége, de la Garonne, de la Neste, on reconnaît la constitution uniforme des Pyrénées, leurs richesses minérales et agricoles, et l'on discerne les conditions des chemins qui répondront aux besoins du trafic local et du transit vers l'Espagne (1).

(1) Voir la planche n° 16.

Au cœur du soulèvement, aux pics élevés, comme à la Maladetta par exemple, le noyau granitique de la chaîne apparaît; il est revêtu par les schistes siluriens, souvent rubanés de marbre blanc. Par-dessus reposent les schistes dévoniens, avec le vieux grès rouge, et les marbres saccharoïdes. Après viennent les calcaires bleuâtres, jurassiques ou néocomiens, d'ordinaire métamorphiques. Un rideau de calcaire nummulitique fait la première ondulation de la montagne. Au pied, s'étend le dépôt lacustre de molasse, remblayé par les déjections des torrents de l'époque glaciaire, et la plaine se continue ainsi jusqu'aux sables des Landes.

3. *Richesses minérales et agricoles.* — Sur le parcours de ces belles vallées cultivées et habitées jusqu'à l'altitude de 1.400 mètres, les éléments de trafic sont abondants. Le calcaire métamorphique est souvent un marbre de grande valeur, marbre blanc de Saint-Béat, qui s'emploie pour la statuaire et les colonnades, griotte de Cierp, brèche de Sarrancolin; des exploitations qui datent de Louis XIV ont livré les revêtements des grands escaliers et des galeries de Versailles. Les minerais de fer ont des gîtes nombreux et un centre de fabrication à Vicdessos et Tarascon. Les eaux thermales sulfureuses jaillissent ordinairement suivant les filons, au contact de deux roches; à Ax, par exemple, elles se font jour entre le silurien et le granite; là, des sources chaudes alimentent les lavoirs, servent aux besoins domestiques; la végétation chauffée souterrainement prend à l'altitude de 700 mètres l'aspect méridional. Luchon, la première station thermale des Pyrénées, vient en importance après Vichy malgré son éloignement. Au delà de ces fonds de vallées et en continuant à monter, les forêts de hêtres et de sapins couvrent d'ombrages puissants les gorges, les couloirs des torrents; puis les pâturages, où viennent estiver les troupeaux de vaches

et de moutons, tapissent les cirques de déjection, quand aux hautes altitudes cessent même les arbustes si fréquents jusque-là, les buis et les rhododendrons.

4. *Voies de transport du trafic local.* — Dès lors on peut, presqu'à l'inspection de la cycloïde du cours d'eau, apprécier la solution de route qui convient à chaque section de la vallée. Le chemin de fer, détaché de la ligne de ceinture qui suit le pied de la chaîne, jettera un branchement de pénétration vers les centres de population créés pour exploiter les stations thermales, les scieries de marbre ou de planches, les usines à fer. C'est la partie basse et à faible pente, là où la rivière reste pleine toute l'année, où elle a quitté son lit de divagation et laissé une place tranquille à des prairies et à des jardins arrosés, à des industries mécaniques travaillant avec les réserves de chute d'eau qu'assurent le plus souvent de simples barrages en galets. On peut aller ainsi dans l'Ariége jusqu'à Ax. Sur la Garonne, la limite n'est pas Saint-Béat et Luchon, mais Viella à la cote 1.000, chef-lieu de la vallée d'Aran et territoire espagnol situé sur le versant nord entre les portes de fer de Foz et les crêtes. Sur la Neste, on rencontre l'aisance, l'activité, les monuments même jusqu'à Arreau, croisement de la route thermale des Eaux-Bonnes à Luchon. Au delà de ces points d'arrêt naturels, commencent avec les forêts le ramassage du minerai et les coupes de bois, tous transports descendants. On est dans les couloirs des torrents : de simples routes suffiront. Elles remplaceront pour les bois les flottages, non pas à bûches perdues comme dans le Morvan, mais à troncs perdus, qu'on lance au milieu des roches pour qu'une débâcle d'hiver les emporte. Avec le régime actuel, la destruction de valeurs est considérable.

La voie mixte formée d'un chemin de fer et d'une route

paraît donc le meilleur emploi du capital, qu'on pourrait appliquer à la viabilité dans les montagnes.

5. *Transit vers l'Espagne.* — Mais ces mêmes cycloïdes *par leur arc vertical* s'attachent au faîte de la chaîne, et se raccordent avec une courbe symétrique qui descend le versant méridional, et aboutit en Espagne, aux chemins de Catalogne ou d'Aragon. Faut-il négliger le transit espagnol qui s'exerce à dos de mulet, et le plus souvent à dos d'homme par des contrebandiers? Faut-il au contraire se préoccuper de l'état presque sauvage qui règne à la frontière?

L'Espagne est un pays admirablement doué par la nature; toutes les richesses du versant nord, marbres, minerais, eaux thermales, se retrouvent presqu'aux mêmes altitudes sur le versant sud, et les vallées y produisent en quantité le blé, le vin et l'huile. C'est la voie de transport qui manque. Pourquoi, quand elle existera, ne reverrait-on pas ce qui s'est produit pour le midi de la France? Le Gers, l'Aude, l'Hérault, le Gard, sont devenus riches dès qu'ils ont pu exporter leurs vins. Les désordres moraux et politiques ne durent pas toujours, et les choses, un peu plus tôt un peu plus tard, reprennent leur cours normal. Cherchons donc ici quel est le meilleur passage des Pyrénées Centrales. Les profils comparatifs l'indiqueraient s'ils allaient jusqu'à l'Èbre, s'ils donnaient les deux versants, au lieu de n'en présenter qu'un seul. Tels qu'ils sont, ils disent déjà beaucoup. Sur l'Ariége, une fois à Ax, on rencontre, jusqu'au col de Puymorens, un massif de granite trop long, trop épais pour être franchi par des lacets ou un souterrain. La descente d'ailleurs mène à Puycerda. C'est la route de Barcelone, non celle de Saragosse, le vrai centre commercial et politique de la région. La Garonne livre au contraire une courbe douce et continue. On peut monter jusqu'à Sabardu, presqu'à 1.400 mètres, avec des

locomotives. Là, on est en face d'un glacis gazonné de 500 mètres de hauteur, incliné au quart; mais on peut y gravir, soit par des lacets, soit au moyen d'un plan incliné, qui prendrait sa force motrice dans l'eau et la chute d'un torrent voisin. On atteint ainsi le Plâ de Béret, large plateau de pâturages très-fréquentés en été par le bétail; on est à la cote 1.880 : là naissent presque ensemble les sources de la Garonne, qui descendent au réseau français, les sources de la Noguera Pallaresa, qui vont à l'Èbre et au réseau espagnol, à Lérida; on est presque en Aragon.

Si l'on tente la route de la Neste, il faut à Vieille-Aure abandonner le lit principal, s'attacher au ravin sauvage de Moudang, s'ouvrir un chemin sur le flanc vertical des schistes anciens, puis, lorsqu'on est aux Cabanes, à 1.530 mètres d'altitude, dans la région des pâturages et en plein cirque de déjection, il faut percer un mur vertical de 5 kilomètres d'épaisseur toujours à travers les schistes. On débouche de l'autre côté dans la vallée de Bielsa, et par la Cinca on atteint Barbastro, qui est un peu plus avant que Lérida.

6. *Tracé par le Gave.* — Il est une autre direction utile à étudier, c'est celle d'un affluent du Gave de Pau, le Gave d'Oloron, en passant comme la route actuelle au faîte de Somport. On dessert à mi-chemin les Eaux-Bonnes et les Eaux-Chaudes, on redescend de l'autre côté vers Jaca, et par la vallée du Gallégo, on aborde Saragosse. Si l'on jette les yeux sur une carte, on verra que c'est le plus court chemin de Paris à Madrid par Périgueux, Pau, Saragosse; aussi c'est la ligne qui, comme voie politique, obtient la préférence des Espagnols.

Quand la branche de la vallée du Gave d'Oloron sera jointe aux tracés et aux levés pris dans les vallées de l'Ariége, de la Garonne, de la Neste, on aura au moins d'utiles renseignements pour apprécier sur le versant français les charges et les produits du meilleur passage à travers le

massif des Pyrénées; car les profils rassemblant le relief topographique et la constitution minérale du sol procurent une vue d'ensemble, déjà nette et bien approchée de la vérité.

Si l'on trouve de l'intérêt dans les renseignements et les figures que rassemble cette notice, il faut en renvoyer le mérite à M. l'ingénieur en chef Decomble, qui a étudié pour ainsi dire avec passion les Pyrénées, qui connaît leurs ressources et leurs besoins, et qui a été parfaitement secondé dans les opérations sur le terrain par M. Grapin, conducteur, qui a rempli de fait les fonctions d'ingénieur. Certainement c'est un résultat d'avoir démontré que par la vallée de la Garonne on peut franchir la chaîne à ciel ouvert sans souterrain, et sans dépasser l'altitude de 1.880.

Quant aux levés géologiques, ils sont l'œuvre de M. Guillier, jeune conducteur plein d'avenir; les résultats ont subi le contrôle de M. l'ingénieur en chef Delesse, dont le nom fait autorité.

Paris, le 19 novembre 1874.

N° 25

TRAVAUX DE PERCEMENT DU SAINT-GOTHARD

NOTICE

Par M. BATISSE, ancien élève de l'École polytechnique,
Élève-Externe à l'École des ponts et chaussées.

INTRODUCTION.

Dans les travaux de la nature de ceux qui font l'objet de cette notice, la dépendance, la connexité entre les différentes parties dont ils se composent, en rendent nécessairement les divisions indispensables à la clarté de l'exposition, peu rigoureuses et variables avec le point de vue sous lequel on les envisage. La destination de l'ouvrage dont nous nous occupons, les moyens mis en œuvre pour en réaliser l'exécution et la manière dont ils se trouvent utilisés, ont servi de base à la classification générale adoptée, et qui, dans l'ordre choisi, est la suivante :

1° Entreprise;
2° Organisation des chantiers;
3° Mode d'exécution;
4° Étude des machines.

Il eût peut-être été plus rationnel, en ce qui concerne l'ordre suivant lequel se succèdent les trois derniers groupes énoncés, de commencer par l'étude des machines et du mode d'exécution, pour finir par celle de l'organisation des chantiers, cette dernière exigeant une connaissance, sinon approfondie, du moins suffisante des deux premières. Le point de vue tout particulier auquel nous nous sommes

placés nous a conduit à un ordre différent. Dans les travaux tels que ceux que nous étudions, la première chose qui s'offre à l'attention du visiteur est l'organisation des chantiers : il s'enquiert en gros des moyens mis en action, en prend une connaissance superficielle et, pour les voir, se trouve tout naturellement amené à en considérer l'installation et l'emplacement. Il s'occupe ensuite de la façon dont ils fonctionnent, observe la manière dont ils réalisent leur but, c'est-à-dire le mode d'exécution. Ce n'est qu'après ce dernier examen, qu'il songe à voir de plus près, plus en détail, et à approfondir séparément chaque moyen mis en jeu.

Tels sont, en peu de mots, les motifs qui peuvent justifier l'ordre et le mode de division adopté dans cette notice. Le lecteur n'y trouvera qu'un essai sur les considérations générales qui ont dû guider dans le choix et la disposition des moyens employés, et des renseignements techniques très-sommaires, pour lesquels, sans les bienveillants encouragements que nous avons reçus, nous n'eussions jamais osé ambitionner l'honneur de la publicité des *Annales*.

Aperçu sur le tracé général de la ligne du Saint-Gothard. — Le souterrain du Saint-Gothard occupe la partie médiane d'une voie ferrée destinée à relier la Suisse à l'Italie, en mettant en communication directe Zurich et Milan. Cette voie (Pl. 17, *fig.* 1) prend son origine sur le chemin de fer de Romanshorn à Lucerne, près de Cham, côtoie la rive orientale du lac de Zug, et arrive à Art, après avoir desservi Oberwyl et Wachwyll. De là elle contourne le Rigi par le col de Bergfall, qu'elle traverse en souterrain, et par la vallée de la Muotta jusqu'à Brünnen, où elle prend une direction parallèle à l'Axenpass pour gagner Flüelen. A partir de cette dernière ville, la ligne s'engage dans la vallée de la Reuss, traverse Altorf, Amsteg et aboutit enfin à Gœschenen, petit village situé à l'extrémité nord du tunnel.

Entre Amsteg et Gœschenen la vallée se rétrécit; la Reuss

Fig. 21. *Plan*

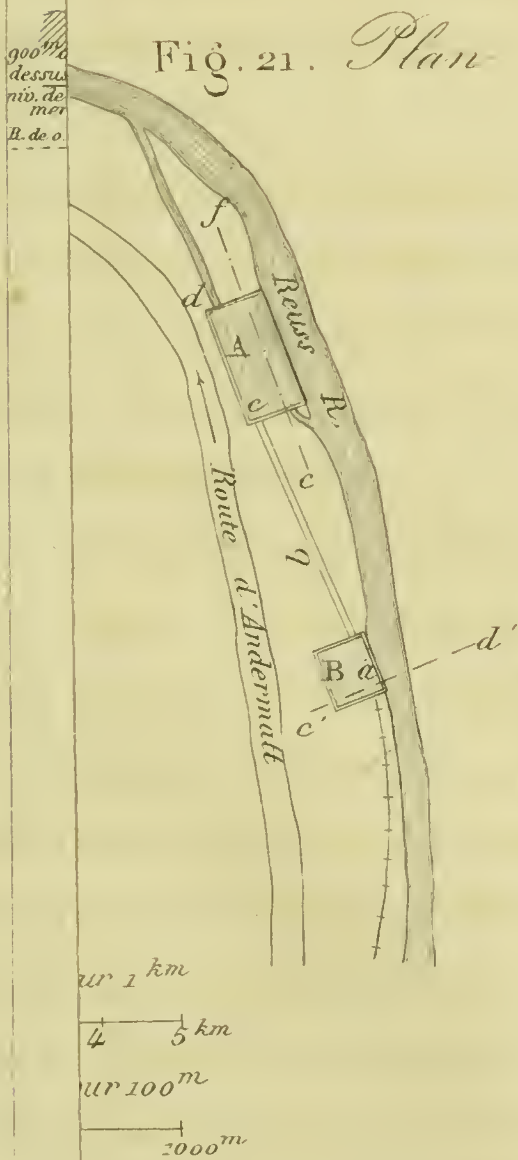


Fig. 23. *Coupe ab*

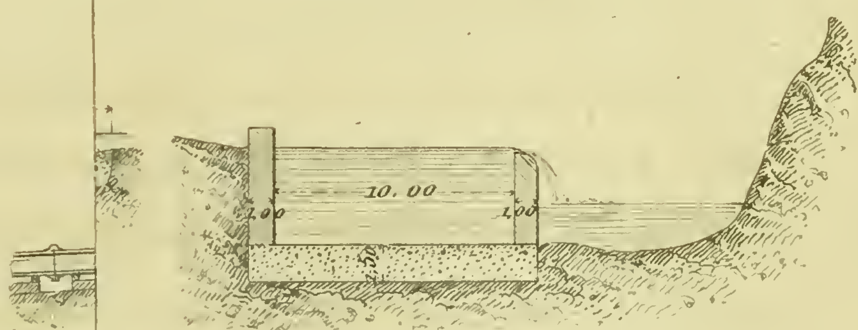
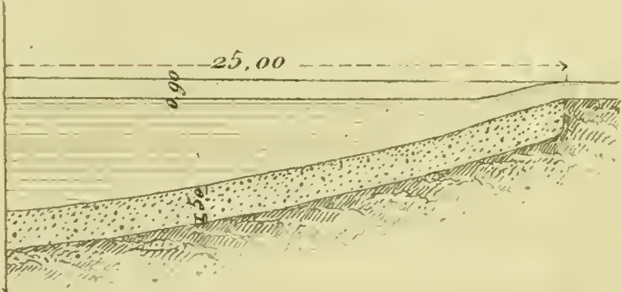
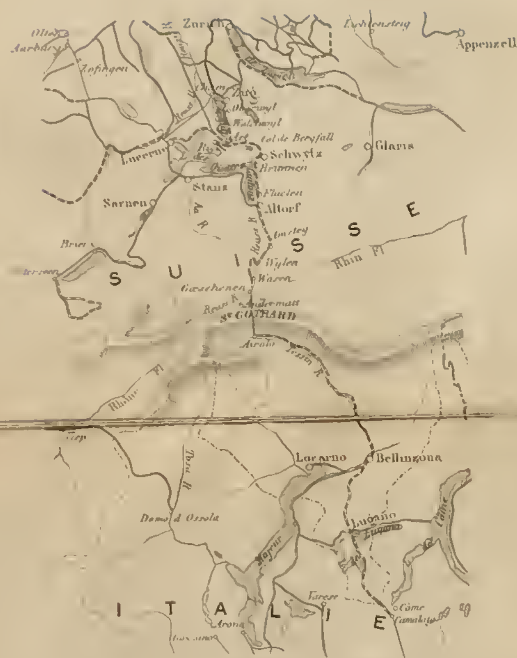


Fig. 25. *Coupe suivt ef*



An

Gravé par E. Pérot



A Fig. 1



B Fig. 2 Profil en long du tunnel du St Gothard



Fig. 3 Organisation des Chantiers (Côté de Gœschenen)

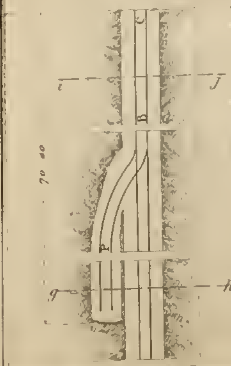


Fig. 4 Coupe horizle du tunnel à la hauteur de la plate forme de la galerie d'avancement



Fig. 6 Coupe suivt ij



Fig. 7 Coupe suivt gh



Fig. 8 Coupe suivt cd



Fig. 9 Coupe suivt ef



Fig. 10 Coupe suivt mn



Fig. 11 Coupe suivt ab



Fig. 12 Section récapitulative du mode d'excavation

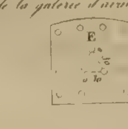


Fig. 13 Disposition réglementaire des trous de mines de la galerie d'avancement



Fig. 5 Section définitive projetée pour les parties en roches dures

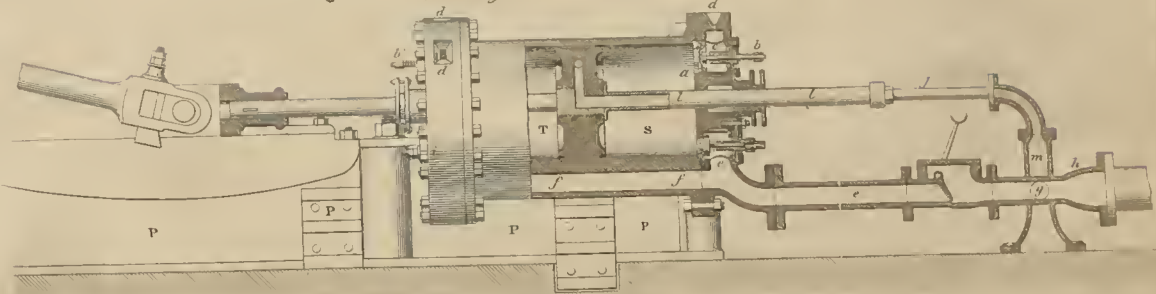


Fig. 14 Coupe longitudinale d'un compresseur

Machine à forer automatique Système Ferroux

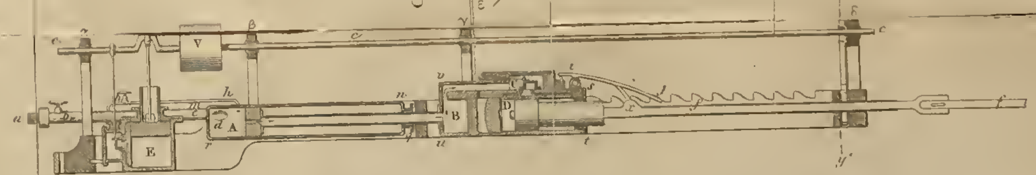


Fig. 15 Coupe suivant XY



Fig. 16 Coupe suivant XY du support montrant les rainures destinées à recevoir les organes de la machine

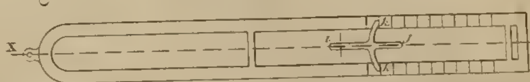


Fig. 17 Plan du support principal montrant le taquet

Affût des machines perforatrices

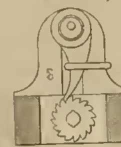


Fig. 18 Coupe suivt x'y' montrant l'organe qui produit la rotation du foret

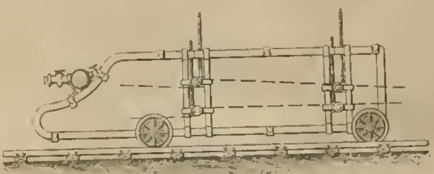


Fig. 19 Élévation latérale de l'affût

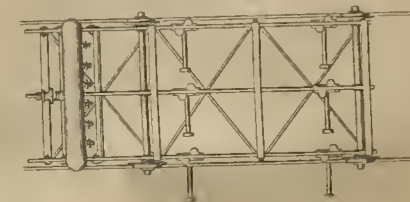


Fig. 20 Plan

Prise d'eau du tunnel du St Gothard

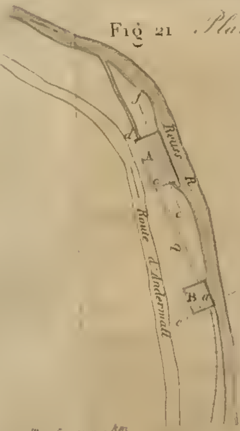


Fig. 21 Plan

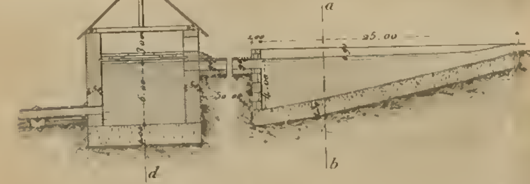


Fig. 22 Coupe suivt abcd du plan



Fig. 23 Coupe ab

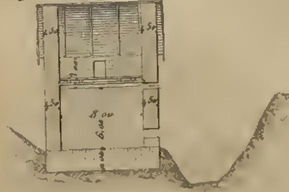


Fig. 24 Coupe suivt c'd'

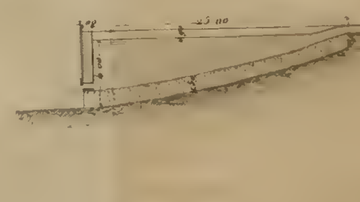


Fig. 25 Coupe suivt ef

Echelle A de 0m0005 pour 1km

Echelle B longueurs 0m0005 pour 1km, hauteurs 0m0005 pour 100m

y coule dans des gorges profondes, ayant à droite et à gauche des montagnes rocheuses, à flancs escarpés et presque entièrement dépourvues de végétation. Cette configuration du terrain a rendu les études du tracé assez pénibles, et entraînera nécessairement des dépenses considérables pour l'établissement du chemin de fer, dépenses accrues dans une assez forte proportion par un lacet d'environ 12 kilomètres que décrit la ligne sur le flanc de la montagne, entre Wylen et Wasen. Ce coude se trouve imposé par l'obligation à laquelle les ingénieurs se sont astreints de ne pas employer de pentes excédant $0^m,025$, et par la trop grande différence de niveau entre Flüelen et Gœschenen relativement à la distance horizontale qui les sépare. Au delà d'Airolo, extrémité sud du tunnel, la ligne débouche dans la vallée Lévantine, longe le Tessin et vient enfin rejoindre le chemin de fer de Côme à Milan, après avoir traversé Bellinzona et Lugano.

PREMIÈRE PARTIE.

Concession. — Personnel de l'entreprise.

Concession du souterrain. — La ligne du Saint-Gothard a été concédée par le gouvernement fédéral suisse à une compagnie qui, après en avoir confié les études à des ingénieurs allemands, a mis, en 1872, le souterrain du Saint-Gothard en adjudication. D'après ces études, le tunnel doit avoir une longueur de 14.900 mètres, et présenter, du milieu aux extrémités, des pentes longitudinales faibles. (Voir *fig.* 2.) M. Favre, entrepreneur à Genève, s'étant engagé à le livrer au bout de huit ans, moyennant la somme de 58 millions de francs, en fut déclaré l'adjudicataire.

Entreprise. — L'avance énorme de capitaux que nécessite l'exécution de travaux d'une telle importance a conduit

M. Favre à émettre un certain nombre d'actions dont les titulaires partagent avec lui les chances de gain ou de perte, tout en lui laissant la direction des travaux ainsi que l'administration des fonds. Chaque mois, un rapport imprimé sur l'état d'avancement des travaux et sur la comptabilité leur est adressé. Ils ont en outre, chaque année, un certain nombre de jours de réunion, où ils peuvent discuter les intérêts de l'entreprise.

Composition du personnel de l'entreprise. — Le personnel de l'entreprise est assez restreint et se partage pour ainsi dire en deux catégories d'agents : l'une qui, attachée au service des machines, en surveille le fonctionnement et en recherche les modifications avantageuses; l'autre qui, chargée de la surveillance des travaux, en dirige l'exécution. La première catégorie comprend un ingénieur-mécanicien ayant la direction générale des machines et pouvant disposer d'une certaine somme pour les travaux, expériences ou essais qu'il juge convenable de faire, soit en vue d'améliorer les machines existantes, soit en vue d'en découvrir de meilleures. Il a sous ses ordres deux chefs-mécaniciens qui dirigent, l'un les ateliers de réparations de la tête nord du souterrain, l'autre ceux de la tête sud; tous les deux ont en outre la surveillance des machines placées à leur proximité. Les ateliers de réparations dont il vient d'être fait mention occupent chacun environ quarante ouvriers.

La deuxième catégorie se compose uniquement d'un ingénieur à qui sont adjoints deux conducteurs placés chacun à une des extrémités du souterrain, et d'un certain nombre d'employés subalternes.

Nationalités. — Le personnel de l'entreprise est en partie français et en partie suisse. L'élément français y domine. Les ingénieurs et employés de la compagnie sont allemands. Les ouvriers sont piémontais avec une faible proportion de français; il n'y a aucun ouvrier allemand.

DEUXIÈME PARTIE.

Organisation des chantiers (Côté de Gœschenen).

Considérations générales. — La puissance et la nature des moyens nécessaires à l'exécution rapide de travaux aussi considérables, l'emploi de l'air comprimé comme force motrice intermédiaire et de l'eau comme force motrice primordiale, entraînent un développement énorme de machines dont l'installation doit nécessairement constituer la partie capitale de l'organisation des chantiers. La détermination de leur emplacement devient dès lors le principal objectif de l'ingénieur, sauf à grouper ensuite avec le plus de discernement possible les chantiers de moindre importance. Dans cette détermination la longue durée des travaux vient pour ainsi dire de suite mettre en relief la question d'économie de temps et en imposer une étude minutieuse. Il en résulte qu'indépendamment des pertes de temps inhérentes à la nature des moyens mis en action, il importe grandement de se préoccuper de celles qui, dues à telle ou telle disposition des chantiers, présentent ainsi un caractère de permanence inévitable. Les petites pertes de temps souvent répétées peuvent à la longue acquérir une grande importance et exigent aussi une recherche assez approfondie des causes propres à les prévenir.

Le cahier des charges offre un exemple assez curieux de ce dernier fait. On y trouve un article conçu en ces termes : « Le gouvernement fédéral suisse autorise M. Favre, entrepreneur, à n'apporter aucune interruption aux travaux du souterrain les dimanches et jours fériés, moyennant la somme unique de..... » Les chômages dus aux dimanches et jours fériés représentaient en effet dans l'intervalle de huit ans un peu plus d'une année, c'est-à-dire le huitième du temps que M. Favre a jugé nécessaire au percement du tunnel. Il était donc de haute importance pour lui d'en ob-

tenir la suppression ; mais la loi suisse actuellement en vigueur interdisant d'une façon absolue le travail du dimanche sous peine d'amendes que les récidives accroissent dans une proportion considérable, cette suppression ne devenait possible que par un arrangement à l'amiable et à forfait avec le gouvernement fédéral. C'est ce qui a eu lieu, et l'article susmentionné ne fait que résumer le résultat des pourparlers engagés à cet effet.

Description topographique succinte des abords du tunnel à l'origine des travaux. — L'extrémité nord du souterrain se trouve à 500 ou 600 mètres de Gœschenen, près du pont sur lequel la route d'Altorf à Andermatt franchit la Reuss. Dans cette partie et avant l'installation des chantiers, la largeur de la vallée se réduisait au lit même du torrent. Les rives étaient formées de rochers à pente roide et d'une extrême dureté. Un petit élargissement du lit, offrant une surface plane d'une certaine étendue, existait seul à quelque distance en aval de l'entrée nord du souterrain.

Installation des machines. — Le mode de division adopté pour cette notice ayant conduit à consacrer toute une partie à l'étude détaillée des machines, nous n'avons à les envisager ici que dans leur rapport avec l'organisation des chantiers.

Le but poursuivi, c'est-à-dire le forage rapide des trous de mines, joint à l'idée ingénieuse empruntée aux travaux du Mont-Cenis, d'utiliser l'eau et l'air comprimé comme forces motrices, a déterminé l'emploi de trois sortes de machines : 1° des turbines ; 2° des compresseurs ; 3° des machines à forer.

L'emplacement des turbines et des compresseurs, ainsi que celui des ateliers de réparations, a été choisi, comme l'indique le plan, *fig.* 3 (*), le plus près possible de l'entrée du souterrain.

(*) *Nota.* — Ce plan n'a nullement la prétention de donner une

Les machines à forer, montées sur des affûts qui peuvent parcourir la voie en tous sens, occupent une position entièrement subordonnée aux besoins du service.

Le plan et la légende ci-jointe montrent suffisamment tous les détails de l'organisation des chantiers, et en rendent toute description superflue; nous nous bornerons donc aux observations qui ne s'y trouvent renfermées que d'une manière implicite.

LÉGENDE.

CONDUITES D'EAU.

—

A. Condenseurs reposant sur un massif de maçonnerie.
B. Hangar abritant neuf compresseurs mus à l'aide de trois turbines.
C. Salon et lavabo pour les visiteurs au rez-de-chaussée. — Bureaux au premier.
D. Hangar abritant deux compresseurs du Mont-Cenis et deux chaudières à vapeur.
E. Ateliers de réparations.
F. Magasins de débarras.
G. Cour servant aux expériences.
H. Portier du tunnel.
I. Hangar des charpentiers.
8. Atelier des scieurs de long.
J. Maison des employés.
a. Forge.
b. Menuiserie.
K. Écuries.
L, M, N. Cantines.
l, *l*, *l*. Lieux d'aisances.
O. Installation d'un théodolite.
O, Q. Direction de l'axe du tunnel.
Q. Entrée du tunnel.
t. Tranchée en cours d'exécution pour permettre au théodolite d'apercevoir l'axe du tunnel.
P, P. Maisons de Gœschenen.
R, R. Dépôt des déblais venant du tunnel.
T. Bureaux de la compagnie.
c, *d*, *e*. Entrées des chantiers.
c, *f*, *d*. Chemin suivi par les ouvriers pour aller à Gœschenen.
f. Passerelle en bois.
u. Ancien dépôt de dynamite.
V. Dépôt de dynamite actuel.

On doit remarquer dans les chantiers la présence de deux

---

idée exacte ni de la forme du terrain, ni de l'étendue des bâtiments; il a été pris *à vue*, très-rapidement et d'un point dominant les chantiers, c'est-à-dire dans des conditions où, même avec le plus grand soin possible, il eût été tout au moins impossible d'éviter les erreurs de perspective. La seule indication qu'il puisse donc fournir avec un peu d'exactitude est l'aspect général des chantiers et la disposition des différentes parties, mais avec des déformations évidentes de distances séparatives et des erreurs inévitables de position géographique.

installations distinctes de compresseurs, dont l'une, si nous nous rappelons que les forces hydrauliques et aériennes devaient seules être mises en jeu, offre la singularité de posséder des chaudières à vapeur. C'est qu'en effet, à l'origine des travaux, la vapeur a servi à la mise en mouvement des compresseurs, bien que l'emploi de l'eau de la Reuss, d'une utilisation simple et facile, fût décidé.

Dans les circonstances ordinaires, cette façon de procéder eût, sans nul doute, été contraire aux intérêts de l'entreprise; mais l'achat à vil prix des chaudières et compresseurs du Mont-Cenis et la rapidité d'installation dont elles sont susceptibles la justifiaient pleinement. On a pu ainsi commencer de suite le percement, c'est-à-dire économiser un temps que l'obligation de terminer le souterrain en huit années rend précieux; puis établir sans précipitation la prise d'eau, les tuyaux de conduite et des compresseurs qui, comme nous le verrons plus tard, offrent une disposition différente de ceux du Mont-Cenis.

Quoique inactives aujourd'hui, ces machines ont encore l'avantage de pouvoir être utilisées pendant les réparations que nécessite l'entretien des turbines.

Au début, l'air comprimé se rendait directement des compresseurs actuels aux machines perforatrices et y arrivait ainsi chargé d'une quantité considérable de vapeur d'eau. Il en résultait pour le fonctionnement de ces machines et pour les mécaniciens une gêne telle qu'on se vit bientôt dans l'obligation d'y remédier en établissant les trois condenseurs qui figurent dans l'organisation des chantiers, et qui suffisent largement pour les neuf compresseurs aujourd'hui en activité.

Prises d'eau. — Les croquis joints à cette notice (*fig.* 21 et suiv.), montrent la disposition, la forme et les dimensions principales de la prise d'eau. La Reuss descendant des glaciers du Saint-Gothard, offre encore à Gœschenen des pentes très-fortes, et constitue un torrent dont les eaux charrient

une grande quantité de matières terreuses. Un premier réservoir A, destiné à en provoquer le dépôt, communique par sa partie supérieure, et à l'aide d'un conduit maçonné, avec un château d'eau B situé plus en aval. Là, les eaux laissant déposer les matières qu'elles tiennent encore en suspension, achèvent ainsi de s'épurer et pénètrent enfin dans les tuyaux qui servent à l'alimentation des turbines. L'eau trouble et les dépôts sont évacués par des ouvertures de dégagement pratiquées à la partie inférieure du réservoir et du château d'eau, comme le font voir les coupes *ef* et *c'd'*. Un déversoir latéral occupant toute la longueur de la face du réservoir A, parallèle à la Reuss, y règle le niveau des eaux. L'ouverture supérieure qu'indique la coupe *c'd'* a le même but et joue le même rôle de trop-plein par rapport au château d'eau. Le tuyau de conduite, en tôle de $0^{m},005$ d'épaisseur, est formé de tronçons de $6^{m},50$ de longueur, munis aux extrémités d'oreilles et renforcés de cornières servant à les réunir. Chaque tronçon se compose lui-même de trois autres, assemblés par des rivets et d'une longueur de $1^{m},50$. Les joints sont rendus étanches à l'aide d'une épaisse rondelle de caoutchouc pincée entre les deux oreilles. La hauteur de charge obtenue aux turbines est de 93 mètres.

La conduite d'eau affectée aux ateliers de réparation et qui, sur le plan (*fig.* 3), longe la Reuss, a sa prise d'eau près de la route. C'est un simple réservoir n'offrant rien de particulier.

Dépôt de dynamite. — L'ancien dépôt de dynamite était en *u* à proximité des mineurs et près de la tête du tunnel. Une explosion qui occasionna la mort de plusieurs tailleurs de pierre placés en *y*, ainsi que celle du gardien du dépôt, en détermina la translation en V, le plus loin possible des chantiers. La cause de cet accident est restée inconnue. Il est pourtant à présumer, vu la résistance à l'explosion qu'oppose la dynamite en présence de corps ordinaires en

ignition, que la détonation fut amenée par l'introduction imprudente de cartouches dans le magasin.

Maçonneries. — Les maçonneries n'étant pas commencées du côté de Gœschenen, les approvisionnements de moellons et de pierre de taille sont seuls en voie de préparation ; les chantiers de mortier, les magasins à chaux, etc., etc., n'existent pas davantage jusqu'à présent. Les dépôts de moellons se font actuellement à droite de la voie, au sortir du tunnel, et des tailleurs de pierre, disséminés sur la rive droite de la Reuss en x, y, z, y débitent des roches provenant d'éboulements anciens.

Cantines. — A l'origine des travaux le village de Gœschenen, ne comptant qu'une vingtaine de maisons, était complétement dénué des ressources nécessaires au logement et à la nourriture des ouvriers. Pour suppléer à cet inconvénient, des cantines furent construites sur la rive droite de la Reuss, aux frais de l'entreprise et près des chantiers.

Les chambres en sont louées aux ouvriers et choisies par eux suivant un ordre pour ainsi dire hiérarchique : cette classification se déduit du mode même d'exécution des travaux qui assigne aux différentes classes, divers degrés d'importance. Depuis cette époque, l'industrie privée, attirée par la perspective de la longue durée des travaux, a largement suffi aux besoins toujours croissants des chantiers, qui aujourd'hui ont atteint leur activité normale. Gœschenen possède actuellement plus de cent maisons composées en majeure partie d'auberges et d'hôtelleries.

Visite des chantiers. — L'entrée des chantiers est interdite au public ; trois écriteaux placés aux barrières c, d, e préviennent les étrangers de cette défense et leur indiquent les conditions exigées pour y être admis. Uu gardien circulant constamment sur les chantiers veille à l'exécution rigoureuse de cette mesure.

TROISIÈME PARTIE.

Mode d'exécution.

Considérations générales. — Le mode d'exécution du tunnel du Saint-Gothard semble avoir pour base fondamentale le principe de la division du travail.

Étant donnée une opération du genre de celle qui nous occupe, deux modes d'exécution s'offrent naturellement à l'esprit : 1° mener de front toute la section sur une épaisseur déterminée par la longueur des instruments de perforation et avancer ainsi au fur et à mesure de l'achèvement de la partie attaquée ; 2° diviser la section en un certain nombre de parties et en diriger l'exécution de manière à pouvoir rendre le travail sur chacune d'elles indépendant de celui effectué sur les autres.

Dans le premier cas, l'action se trouve nécessairement limitée à l'étendue de la section et le temps mis au percement mesuré par la vitesse d'avancement de la section entière du tunnel. Dans le deuxième cas, au contraire, la zone d'action peut, à l'aide d'un mode d'exécution simple, s'étendre à volonté ; il suffit de subdiviser le chantier en divers ateliers successifs, c'est-à-dire amener le percement des différentes parties dans lesquelles la section a été divisée à des degrés d'avancement différents et, bien entendu, dans l'ordre le plus favorable à l'extraction des déblais. L'étendue de ces parties étant proportionnelle à la différence de leur avancement, peut ainsi varier à volonté et acquérir tel ou tel développement qu'il plaira. De plus, leur indépendance entraînant celle des actions qu'on peut exercer sur elles, le principe énoncé y trouve une application immédiate.

En équilibrant convenablement la puissance du travail sur chaque partie, il est facile d'obtenir la simultanéité de leur achèvement. Les différentes parties s'exécutant et se

terminant dès lors toutes à la fois, la rapidité d'exécution du tunnel suit une marche identique à celle de l'une d'entre elles, par exemple à celle qui précède toutes les autres, c'est-à-dire de la galerie d'avancement.

Cette manière de voir conduit tout naturellement à réduire la section de la galerie d'avancement au minimum indispensable pour le fonctionnement des moyens employés à sa perforation, et c'est ce qui a été fait.

L'application du principe de la division du travail, et la condition de faciliter le plus possible l'extraction des déblais, expliquent du reste les différents modes d'exécution employés jusqu'ici pour le percement des souterrains, et dont les deux principaux sont connus sous le nom de *procédé belge* et *procédé français.*

Les machines perforatrices permettant un forage beaucoup plus rapide que la main de l'homme, il serait évidemment plus avantageux de les employer sur toutes les parties de la section, mais leur mode de fonctionner s'y oppose. Dans les parties avoisinant les parois du tunnel, chaque trou de mine doit être disposé en vue d'obtenir la forme définitive, c'est-à-dire occuper les positions les plus variées : la configuration des roches, leur nature, l'aspect et l'état des parties contiguës à celle qu'on veut extraire, etc., etc., offrent une diversité de conditions qui exigent chacune un agencement différent des trous de mine. Les machines ne peuvent se plier à toutes ces exigences, la main seule de l'homme peut y satisfaire, et de là l'emploi tantôt du travail à la machine et tantôt du travail à la main. La division de la section en trois parties principales en résulte de suite : l'une centrale, ne demandant aucun soin dans l'exécution, sera réservée à la machine ; les deux autres latérales, se terminant aux parois du tunnel et exigeant ainsi une certaine adresse d'exécution, seront effectuées à la main. La forme des affûts conduit en outre à adopter comme surfaces séparatives de ces trois parties

des plans verticaux parallèles à l'axe; enfin la taille de l'homme et la hauteur des affûts, trop faibles pour permettre d'atteindre les parements sur toute leur hauteur, entraînent de toute nécessité leur subdivision par des plans horizontaux.

Exécution du souterrain. — La section du souterrain, eu égard aux considérations précédentes, a été divisée, comme l'indique la coupe récapitulative de la planche ci-jointe (*fig.* 12), en sept parties dont l'exécution s'échelonne longitudinalement de 100 mètres en 100 mètres. La première E correspond à la galerie d'avancement et est placée à la partie supérieure de la portion centrale. Le percement en est exécuté à la machine et précède celui de toutes les autres parties. Elle s'étend sur la coupe horizontale de la *fig.* 4, de C en C'.

L'exécution des parties supérieures D et F des portions latérales situées à gauche et à droite de la galerie d'avancement, suit immédiatement la précédente entre les points C' et D', et se fait à la main.

Ce qui reste de la portion centrale est, comme on le voit, divisé en deux parties I et H. Cette division se trouve imposée par l'insuffisance de hauteur des affûts qui portent les machines perforatrices. Comme la partie H n'a pas la hauteur d'un affût, on l'exécute à la main de D' en E'; puis on achève la partie I à la machine, immédiatement après, entre les points E' et F'. On voit ainsi comment la forme des machines, d'un emploi en désaccord avec la hauteur de la section, a fait introduire un travail à la main dans une partie qui devait s'exécuter à la machine.

L'abatage du strauss de gauche G a lieu à la main et à partir de F'. Le strauss de droite J est conservé sur une longueur suffisante pour l'établissement d'une rampe destinée à une voie ferrée allant à l'avancement.

La cunette centrale devant servir à l'écoulement des eaux, se fera ultérieurement et à la main.

Les coupes des *fig.* 6, 7 et suivantes montrent l'aspect des différentes parties du tunnel au fur et à mesure de leur achèvement.

Le branchement latéral P que présente la galerie d'avancement sert, pendant l'explosion des coups de mines, au remisage de l'affût et des injecteurs qui l'accompagnent.

Disposition des trous de mines — Pour les parties exécutées à la main, cette disposition est, comme on l'a déjà remarqué, essentiellement variable et ne peut qu'être laissée à l'appréciation ou à l'expérience du mineur.

Pour les parties exécutées à la machine, il n'a été fait d'études suivies que dans la galerie d'avancement.

Les expériences faites sur cette partie ont conduit l'ingénieur à introduire dans la disposition des trous de mines un agencement particulier et réglementaire, une sorte de canevas permanent imposé à l'ouvrier, tout en lui laissant néanmoins une certaine latitude. Après chaque salve, et lorsque les déblais ont disparu, la répartition des trous de mines sur la section transversale restante doit se faire de la façon suivante (*fig.* 13) : Au centre trois trous formant un triangle équilatéral, espacés de $0^m,30$ et convergeant vers un point tel qu'à la profondeur du trou de mine qui est de $1^m,10$, ils ne soient plus distants que de $0^m,15$; puis sur le pourtour douze trous également distribués sur les quatre côtés. L'ouvrier peut ensuite placer des trous intermédiaires à son appréciation, suivant la dureté de la roche, la façon dont elle se présente, le sens de la stratification, etc., etc. Les trois trous centraux ont pour objet de former, par une explosion antérieure, une ouverture conique qui facilite considérablement l'action ultérieure des autres mines. Cette excavation centrale concourt à la production du maximum d'effet de la mine, car sans elle l'explosion comprime et broie la roche qui reste sur place, et se déblaye difficilement.

On obtient la succession des décharges à l'aide d'une

simple diminution de longueur de mèche pour les trois trous convergents.

Matières explosibles. — La dureté et la ténacité exceptionnelles des roches rencontrées jusqu'à ce jour ont fait proscrire l'emploi de la poudre de mine, qui ne produisait le plus souvent que des débourrages ou des camouflets. La dynamite est exclusivement employée aujourd'hui, malgré le danger qu'elle semble encore offrir par ses explosions soudaines et inexpliquées.

Les trous de mines sont remplis jusqu'à la moitié par des cartouches de dynamite portant au centre une mèche ordinaire qui vient aboutir à une capsule remplie de fulminate; l'autre moitié est occupée par un bourrage ordinaire. L'inflammation de la mèche provoque celle du fulminate, lorsque le feu s'est propagé jusqu'au fond de la cartouche, et la détonation se produit.

On a usé ainsi jusqu'à 48 kilogrammes de dynamite par mètre courant, dans la galerie d'avancement.

Organisation du chantier. — L'organisation des ateliers d'ouvriers affectés au percement du tunnel est basée sur les deux genres de travaux employés à cet effet et qui sont, comme nous l'avons déjà vu, le travail à la main et le travail à la machine, ainsi que sur la condition imposée de n'apporter aucune interruption dans l'exécution.

Pour le travail à la main, chaque atelier de mineurs proprement dits se compose de trois postes, se relayant toutes les huit heures, et comprenant chacun un nombre d'hommes variable avec l'importance des fonctions dont le poste se trouve chargé. Chaque relais a ainsi huit heures de travail sur vingt-quatre.

Pour les parties exécutées à la machine, le service afférent à chaque affût est confié à quatre postes composés de deux postes de *mécaniciens* et de deux postes de *mariniers.* Le rôle des mécaniciens comprend la mise en mouvement des machines à forer, la surveillance de leur fonctionne-

ment, et, en un mot, tout travail nécessaire au forage des trous de mines. Les mariniers ont le bourrage et la charge des coups de mines, leur inflammation et l'enlèvement des déblais résultant de l'explosion.

On comprend dès lors facilement comment fonctionnent ces quatre postes : un premier poste de mécaniciens arrivant, prend possession des machines perforatrices, exécute le forage, remise les machines et se retire; il est immédiatement suivi d'un poste de mariniers qui, après avoir bourré les trous de mines et les avoir fait partir, enlève les déblais et cède alors la place à un nouveau poste de mécaniciens. Chaque poste travaille ainsi six heures sur vingt-quatre.

Le nombre des ouvriers mécaniciens est de quinze par poste, se répartissant de la façon suivante : deux à chaque machine perforatrice chargés, l'un de la machine proprement dite, l'autre du foret; deux aux injecteurs ayant pour mission le curage des trous de mines à l'aide d'un jet d'eau violent dirigé le long du foret. Les machines sont au nombre de six. Le nombre des mariniers dans chaque poste est réglé sur la difficulté variable de l'enlèvement des déblais et sur leur mode de transport. Il est d'environ vingt hommes.

Influence du travail à la main et du travail à la machine sur l'organisme des ouvriers. — Le travail à la machine est extrêmement fatigant pour les ouvriers mécaniciens, car, outre l'accumulation des gaz provenant de l'explosion des coups de mines et qu'une ventilation actuellement insuffisante reste impuissante à dissiper, le forage dégage une quantité énorme de poussière dont l'injection intermittente d'eau ne peut empêcher la formation. Obligés de passer six heures sur vingt-quatre dans une atmosphère saturée de gaz et de poussière, leur santé s'altère assez rapidement; les bronches et les poumons se trouvent promptement endommagés, et au bout d'un temps assez restreint, ils se voient dans l'obligation de cesser ce genre de travail.

Les mariniers, circulant la plus grande partie du temps en dehors de la galerie d'avancement et aucune production de poussière n'ayant lieu pendant leur travail, se trouvent être beaucoup moins incommodés.

Quant aux mineurs proprement dits, ils occupent des parties du souterrain plus élargies, où l'air peut circuler plus facilement, et où les gaz ne séjournent que peu de temps après l'explosion des coups de mines. Ils n'éprouvent donc qu'une gêne très-faible de la part du milieu où ils travaillent.

Rémunération. — La rapidité d'exécution du souterrain dépendant de celle de la galerie d'avancement, des primes sont accordées aux ouvriers mécaniciens en vue de stimuler leur activité. On leur donne à la fin de chaque mois, et en sus des prix convenus, 100 francs s'ils sont arrivés à un avancement de 95 mètres, 200 francs s'ils sont arrivés à 100 mètres, et 300 francs pour 110 mètres et au delà.

Chaque ouvrier mécanicien arrive ainsi à toucher en moyenne 350 francs par mois.

Caisse de secours. — Dans des travaux aussi importants et où les machines jouent un si grand rôle, l'imprudence de l'ouvrier entraîne malheureusement des accidents fréquents et presque toujours graves. D'après les statistiques faites jusqu'à ce jour, on compte, en général, 1 homme de tué et 3 de blessés, dont 2 restant infirmes, sur 40. La surveillance la plus active, les recommandations le plus souvent répétées n'ayant pu amoindrir cette proportion, l'entreprise s'est occupée d'y créer, dans une certaine mesure, un palliatif. Elle a fondé une caisse de secours dont les capitaux, constitués par une retenue de 3 p. 100 sur chaque ouvrier, servent à secourir les ouvriers victimes d'accidents, les femmes et les enfants.

Ventilation. — La ventilation du tunnel se trouve pour ainsi dire encore à l'état rudimentaire. De simples tuyaux greffés sur la conduite d'air comprimé, et placés de distance

en distance à partir de la portion D'C' (*fig.* 4), lancent des jets d'air qui améliorent un peu l'atmosphère du tunnel, mais ne provoquent aucun courant d'air. Cet état de la ventilation n'est probablement maintenu tel qu'à cause du faible avancement du tunnel (1.160 mètres), mais il n'en laisse pas moins beaucoup à désirer.

Mode de transport des déblais. — Deux voies ont été établies à l'intérieur du souterrain, comme le montre la planche déjà citée (*fig.* 4) : l'une au niveau de la plate-forme définitive et allant jusqu'en E'; l'autre montant par une rampe douce sur le strauss de droite, pour venir aboutir au fond de la galerie d'avancement.

La première voie est parcourue par des trains de déblais mus à l'aide d'une petite locomotive. La deuxième livre passage à des wagons remorqués à l'aide de chevaux jusqu'à la partie D'C', et de là conduits à la main aux différents endroits où le chargement des déblais de cette portion et de la galerie d'avancement l'exige. Ces wagons, une fois pleins, sont descendus à la main, isolément, et à la suite les uns des autres jusqu'en A, où ils sont pris par la locomotive et conduits au remblai.

La voie située dans le branchement latéral de la galerie d'avancement reçoit l'affût et les injecteurs pendant l'explosion des coups de mines. Ils y sont conduits à l'aide de chevaux.

Degré d'avancement des travaux (août 1874). — Le fond de la galerie d'avancement se trouvait, le 20 août 1874, à 1.160 mètres de l'entrée du tunnel. Les roches rencontrées jusqu'à la profondeur de 1.150 mètres n'ont permis qu'un avancement journalier moyen de $1^m,20$ à $1^m,60$. A partir de cette distance, il a atteint jusqu'à $3^m,60$ dans du talc extrêmement tendre.

La longueur définitive du tunnel devant être de 14.900 mètres, il faudrait, pour l'achever en huit ans, une vitesse

moyenne d'avancement journalier de $2^{m},50$ à chaque extrémité. Cette vitesse, comme on le voit, n'a pas été atteinte jusqu'à ce jour.

QUATRIÈME PARTIE.

Étude succincte des machines employées au Saint-Gothard.

Considérations générales. — Avant d'entrer dans la description et dans l'étude des machines employées au percement du tunnel du Saint-Gothard, il est peut-être bon d'indiquer dans quel esprit ont été établies les planches et les figures jugées nécessaires.

Les parties suffisantes à l'intelligence des principes et du mode de fonctionnement des machines ont, autant que possible, été seules conservées. Les organes dont l'ensemble constitue ces parties ont été en outre débarassés des détails accessoires et pour ainsi dire réduits à leur essence. Quant aux figures, elles ne donnent nullement les dimensions précises, mais simplement l'aspect général et les proportions des organes qu'elles renferment. La machine perforatrice a été rétablie de mémoire et à l'aide de quelques croquis pris au passage. En un mot, les planches jointes au texte se rapprochent beaucoup plus de simples images saisies à main levée, que de dessins exécutés à l'échelle.

L'ordre établi dans les machines et qui paraît en même temps le mieux approprié à leur explication est celui dans lequel elles se succèdent pour concourir au but final : le forage des trous de mines. C'est l'ordre synthétique des diverses parties d'un ensemble, dont nous allons faire une analyse succincte.

L'exécution des trous de mines exige naturellement l'emploi de machines dites *machines à forer* ou *machines perforatrices.*

Ces machines, mues à l'air comprimé, utilisent ainsi la

force motrice d'un agent qui, à l'état naturel, ne possède aucunement cette qualité et n'arrive à l'acquérir qu'à l'aide d'un procédé tout à fait artificiel : *la compression.* De là la nécessité de nouvelles machines nommées *compresseurs*, et qui, à leur tour, demandent nécessairement l'emploi d'une force motrice différente de la précédente. Les sources de force motrice que fournit la nature, et auxquelles on puise le plus de nos jours, sont, comme on le sait, la chaleur et l'attraction terrestre, dont les actions sont dirigées et transmises aux machines à l'aide d'un élément naturel intermédiaire, l'eau, qui remplit ce rôle à deux états différents : à l'état de vapeur dans le premier cas et à l'état liquide dans le second, sous le nom de force hydraulique.

La proximité de la Reuss, qui coule à peu de distance du tunnel, a tout naturellement conduit à l'adoption de la force hydraulique pour la mise en mouvement des *compresseurs*, et par suite à l'installation de *turbines* et *d'une prise d'eau.* L'emploi momentané de la vapeur ne s'est trouvé justifié que par des circonstances tout à fait exceptionnelles et dont il a déjà été fait mention dans la deuxième partie de cette notice.

En résumé, l'analyse rapide qui vient d'être faite montre l'ordre synthétique dans lequel les machines doivent être étudiées :

1° Prise d'eau;

2° Turbines ;

3° Compresseurs ;

4° Machines perforatrices.

La prise d'eau ayant été classée et décrite dans l'organisation des chantiers, il suffit de la citer ici pour mémoire.

Turbines. — Les turbines sont des turbines Girard à axe horizontal, de la force de 300 chevaux chacune. Elles sont au nombre de trois et agissent sur un arbre moteur divisé en trois tronçons qui peuvent s'assembler ou s'isoler à volonté. Chacun de ces trois tronçons porte une turbine,

et leur action séparée, résultant de la disjonction des parties qui constituent l'arbre moteur, n'est employée que pendant les réparations. Chaque turbine correspond à un groupe de trois compresseurs et est située à droite de la face antérieure du massif de maçonnerie qui le porte.

L'alimentation des trois turbines est confiée à deux conduites d'eau qui vont se réunir en une seule, au-dessus de la tête du tunnel, pour aboutir finalement à la prise d'eau. (Voir les *fig.* 3 et 21 de l'organisation des chantiers.) La hauteur de charge à l'atelier de compresseurs est de 93 mètres.

Compresseurs. Description. — Un massif de maçonnerie, surmonté d'une plaque en fonte, reçoit trois cylindres compresseurs et leurs organes. Le tronçon correspondant de l'arbre moteur, qui, comme nous venons de le voir, porte une turbine, possède en outre deux pignons dentés s'engrenant sur deux roues en fonte à dents en bois comme les pignons, situées de chaque côté du massif de maçonnerie, et offrant une masse suffisante pour servir à la fois de roues motrices et de volants. Ces roues produisent la rotation d'un arbre coudé en face de chaque compresseur, et portant à chaque coude une bielle, qui, à l'aide d'une glissière, anime la tige du piston correspondant d'un mouvement horizontal de va-et-vient. Ce mouvement du piston détermine, comme nous allons le voir bientôt en détail, le refoulement de l'air dans un premier réservoir. Ce réservoir se trouve relié par un tuyau de conduite à deux autres réservoirs analogues appartenant aux deux autres groupes de trois compresseurs, et dont le dernier communique avec le premier des trois condenseurs qui ont déjà été cités dans la deuxième partie. Enfin, un tuyau de conduite partant des condenseurs pénètre dans le tunnel et, s'appuyant sur le strauss de droite, va jusqu'au fond de la galerie d'avancement, où il amène l'air comprimé nécessaire à l'alimentation des machines perforatrices.

Mode de fonctionnement. — Le piston (coupe, *fig.* 14), a été représenté à l'instant où il atteint le milieu de sa course. Si, à partir de cet instant, il continue son mouvement et s'avance vers le réservoir, l'air contenu dans l'espace S du cylindre, et qui se trouve comprimé depuis l'origine du mouvement considéré, ferme hermétiquement les deux soupapes *a*, qu'un ressort à boudin *b* tient chacune pressée contre la paroi du compresseur. La soupape du conduit *e*, *e* continue à se tenir ouverte et celle du conduit *f*, *f*..., placée en *i* et à l'intérieur, à se tenir fermée. L'air se trouve donc ainsi refoulé dans le tube *g*, et de là dans le réservoir par le tuyau *h*. Pendant ce mouvement du piston, l'air qui occupe l'espace T diminue de pression, et la pression atmosphérique s'exerçant sur les deux soupapes a' maintenues par les ressorts b', les fait céder et livrer passage à l'air qui se précipite dans le cylindre. Avant de pénétrer dans le compresseur, l'air séjourne à chaque extrémité dans une chambre *c* qui communique avec l'atmosphère par trois ouvertures *d*, *d*, *d*. Lorsque le piston revient en sens inverse, ce qui avait lieu pour l'espace S se produit pour l'espace T et inversement.

Injection d'eau. — L'air comprimé exsude une quantité de chaleur capable de détériorer les mécanismes, et dont l'absorption devient ainsi nécessaire. A cet effet, un tuyau amène de l'eau dans la partie supérieure *m* du tuyau *g*, qui, comme le montre la *fig.* 14, se trouve divisé en deux compartiments. De là, cette eau pénètre à l'aide du tube *j*, dans le piston, puis dans les parties S et T de la façon suivante : Chaque piston est muni d'un manchon *l*, *l* (coupe) qui glisse à frottement doux sur le tube *j*, ainsi que sur la paroi du cylindre ; il possède, en outre, un système d'ouvertures centrales que montre la *fig.* 14, et qui fait converger l'un sur l'autre les deux jets qui s'échappent dans chacun des espaces S et T. Cette eau, absorbant la chaleur dégagée par la compression, se vaporise, et avec d'autant plus de

rapidité que le choc des deux jets l'amène à un état vésiculaire plus prononcé. Il arrive ainsi dans les réservoirs un mélange d'air et de vapeur qui s'y condense en partie, et n'achève sa condensation que plus loin dans les condenseurs. La chaleur exsudée par la compression se trouve, il est vrai, remise en liberté, mais au lieu d'exercer son action sur un espace aussi restreint que celui des cylindres compresseurs, elle l'exerce sur des surfaces très-étendues et sur l'eau de condensation, qui l'absorbent en partie, la disséminent et la rendent inoffensive.

Réservoirs d'air comprimé. — Chaque réservoir porte à la partie supérieure, un manomètre métallique indiquant la pression qui, en général, est maintenue à 6 atmosphères. Il possède en outre latéralement un tube de verre, montrant le niveau de l'eau condensée qui peut, quand il y a lieu, être évacuée à l'aide d'un robinet placé à la partie inférieure.

Condenseurs.— L'utilité et l'installation des condenseurs interposés entre les réservoirs d'air comprimé et les machines perforatrices ont déjà été mentionnées dans la deuxième partie. Ce sont de simples cylindres en tôle, terminés à chaque extrémité par une calotte sphérique et disposés parallèlement sur un massif de maçonnerie. Ils communiquent entre eux à l'aide de tuyaux placés alternativement à l'une et à l'autre de leurs extrémités, afin de forcer le mélange d'air et de vapeur à parcourir chacun d'eux dans toute sa longueur.

Machine perforatrice automatique du système Ferroux.

Préliminaires.— Il serait sans doute instructif de faire ici la revue des diverses machines perforatrices essayées depuis l'origine des travaux. On pourrait montrer ainsi, par la comparaison des anciennes machines Sommeiller, des machines Dubois et François, la suite des tâtonnements

qui finalement ont conduit à la machine perforatrice à laquelle on donne pour le moment la préférence.

Pressé par le désir d'abréger cette notice, nous ne parlerons que de celle dite *perforatrice Ferroux*, qui fonctionne aujourd'hui aux deux galeries d'avancement.

Ces machines ne présentent pas encore, du reste, tous les caractères de simplicité, de commodité et de solidité qui pourraient les faire considérer comme ayant atteint la perfection et, par suite, comme ayant acquis leur forme définitive. Une machine à forer, expérimentée au moment de notre visite sur les travaux, mais sur laquelle nous n'avons pu obtenir d'explications précises, semble cependant réunir à un plus haut degré ces diverses qualités.

Machine à forer. — La machine perforatrice, uniquement employée aujourd'hui, est celle du système Ferroux. Cette machine n'effectue qu'un trou de mine à la fois; elle est automatique et n'exige ainsi de la part de l'ouvrier que les manœuvres nécessaires à sa mise en mouvement, au curage des trous et à son arrêt, lorsque ces derniers se trouvent achevés. L'ouvrier n'a, en un mot, qu'à tourner un robinet pour mettre la machine en action et commencer le forage, puis à le tourner en sens inverse quand le foret a pénétré de toute sa longueur, en ayant soin de diriger de temps à autre un jet d'eau violent pour opérer le curage. Pour permettre une telle simplicité de manœuvre, cette machine doit donc :

1° Animer le foret d'un mouvement de va-et-vient produisant un choc sur la roche à percer;

2° Produire la rotation du foret taillé en biseau de façon à lui faire exécuter un trou cylindrique;

3° Déterminer, au fur et à mesure du forage du trou de mine, l'avancement du foret, ainsi que de la partie de la machine qui lui communique le mouvement.

Voici en peu de mots, comment ces trois conditions se trouvent réalisées :

1° L'air comprimé (voir *fig.* 15), arrivant par le tube *abc* muni d'un robinet qui permet d'en régler la distribution, pénètre, par l'ouverture *d*, dans la partie A d'un premier cylindre *mnrq*, traverse le piston et la tige que ce cylindre renferme, et arrive dans l'espace B d'un deuxième cylindre *vstu*, d'où il passe finalement dans le tiroir C. Ce tiroir distribue successivement, sur chaque face du piston que contient le deuxième cylindre et dont la tige est terminée par un foret, l'air comprimé qui produit ainsi le mouvement de va-et-vient.

2° Une barre ronde *e*, *e*, *e* traverse à frottement doux trois supports α, β, δ, fixés sur le bâti qui porte les organes de la machine et que les *fig.* 16 et 17 montrent en plan et en coupe. Un cylindre vertical E, muni d'un tiroir qui reçoit l'air comprimé de A par l'intermédiaire du tube *h*, *h*, renferme un piston dont le mouvement produit la rotation de la barre. Cette rotation régularisée par un volant V, produit à son tour celle du foret de la façon suivante : à l'extrémité de la barre et près du support δ, un excentrique qui y est fixé communique au taquet qui l'entoure (*fig.* 18) un mouvement alternativement ascendant et descendant. Le foret, de son côté, porte un pignon denté, sur les dents duquel vient successivement presser le taquet à chaque mouvement descendant. Lorsque ce dernier remonte, un collier en caoutchouc qui embrasse une des branches du support δ, exerce sur lui une traction continue, et le fait tomber sur la dent suivante au moment où il arrive à l'extrémité de sa course. On obtient donc ainsi une rotation périodique du foret. En outre, pour que le mouvement de va-et-vient ne soit pas gêné par le pignon qui, maintenu entre deux parties fixes du support principal, ne peut se mouvoir horizontalement, le foret porte deux tenons longitudinaux qui glissent dans deux rainures correspondantes du pignon.

La rotation de la barre *e*, *e* a encore un autre emploi. La

tige du tiroir C étant forcément horizontale et ne pouvant comme celle du cylindre E recevoir son mouvement d'un excentrique placé sur la barre, il a fallu songer à un autre système de transmission. A cet effet, un ressort logé dans la paroi du tiroir tend constamment à en entraîner la tige vers l'arrière, c'est-à-dire dans la direction du cylindre E. Cette tige se termine par une tête évasée sur laquelle s'appuie le ressort, et qui vient buter contre une came ε possédant un renflement sur la moitié de sa surface et participant au mouvement de la barre. Lorsque la portion élargie de la came arrive en regard de la tête du tiroir, elle exerce sur elle une pression, fait céder le ressort et pousse la tige en avant, c'est-à-dire du côté du foret. Mais la rotation ne tarde pas à faire succéder la portion amincie à la précédente, et à permettre ainsi au ressort de ramener la tige en arrière. Tel est le mode de fonctionnement du tiroir C. Comme le cylindre *vstu*, ainsi que nous le verrons tout à l'heure, s'avance périodiquement, on a en outre imaginé une disposition qui force la came à en suivre le mouvement. La liaison entre la came et la barre est identique à celle qui a été décrite pour le pignon denté et le foret, de sorte qu'un support γ, fixé au cylindre et en arrière de la came, peut la chasser devant lui à chaque mouvement du cylindre.

3° Le cylindre *vstu* possède de chaque côté et longitudinalement deux tenons qui viennent s'engager dans les rainures correspondantes du support principal, et peuvent s'y mouvoir à frottement doux.

La coupe XY montre l'une de ces rainures μν, ainsi que deux autres δθ et φχ, qui, au contraire, servent à fixer les cylindres A et E. Un piston placé dans le cylindre *mnrq*, et lié invariablement à *vstu*, se trouve constamment poussé par la pression de l'air occupant l'espace A, et tend à mettre toute cette partie du système en mouvement dans le sens du foret. L'immobilité en est obtenue à l'aide d'un ta-

quet *ij*, dont les branches K (voir la *fig.* 17) s'arc-boutent sur les dents de crémaillères creusées dans le support principal. Le foret, de son côté, possède un élargissement *x*, qui, au fur et à mesure de l'avancement du trou de mine, s'approche de plus en plus de la tête *j* du taquet et finit par l'atteindre lorsque le forage s'est accru d'environ $0^m,05$. A cet instant, les deux branches K soulevées cessent de mordre sur les dents des crémaillères, et le mouvement du cylindre *vstu* n'étant plus entravé, commence à se produire. Pendant ce temps, le renflement *x* maintenu, à chaque mouvement de va-et-vient, par le fond du trou de mine, ne continue à s'avancer qu'avec la vitesse de perforation, et se trouve ainsi dépassé par le nez *j* qui s'abaisse, et permet aux branches de s'engager chacune sur la dent suivante. Le foret s'avance donc de lui-même avec les organes qui le font mouvoir, au fur et à mesure de l'achèvement du trou de mine et jusqu'à ce que le forage soit complétement terminé.

Métaux constitutifs des différents organes. — Les tuyaux de conduite d'air comprimé *abcd* et *hh* sont en laiton; le cylindre *mnrq*, les cylindres E et *rstu*, ainsi que leurs tiroirs, sont en bronze; le support principal et les supports $\alpha\beta\gamma\delta$, la barre *eee*, la came E, les taquets, le pignon denté et le volant sont en fonte. Le foret, comme l'indique la planche, est formé de deux parties : l'une faisant corps avec la machine est en acier; l'autre s'adaptant à la précédente est en fer ordinaire. Cette dernière partie est la plus délicate et celle qui subit le plus souvent des avaries : on en a cassé jusqu'à vingt-cinq dans le même trou de mine. Elle a été l'objet d'études spéciales qui, jusqu'à maintenant, n'ont pu en améliorer l'état défectueux. Tous les métaux usuels ont été essayés : aucun n'a donné de meilleurs résultats que le fer ordinaire dont on se sert uniquement aujourd'hui, malgré les ruptures assez fréquentes auxquelles il donne lieu.

Affût des machines Ferroux. — Les machines perforatrices du système Ferroux reposent sur des affûts qui peuvent en recevoir six chacun.

L'affut (voir plan et élévation, *fig.* 19 et 20) se compose de trois cadres métalliques verticaux de la forme indiquée par l'élévation latérale, et maintenus par des contreventements inférieurs et supérieurs. Chaque cadre porte deux groupes de montants pouvant glisser sur les parties de l'affût qu'ils embrassent, et être amenés à des distances variables. Chaque groupe possède en outre deux pièces munies chacune d'une tige métallique horizontale, et pouvant, à l'aide de vis, occuper différentes hauteurs. Les machines s'appuient à la fois sur l'une des tiges d'un groupe et sur la tige correspondante de l'autre, comme le montre la ligne en pointillé, et se trouvent ainsi au nombre de deux sur chaque cadre. Elles peuvent donc décrire verticalement un angle assez ouvert; quant à l'angle dont elles peuvent se mouvoir dans le plan des tiges, il est restreint par la longueur de ces dernières qui n'est que de $0^{m},50$. L'affût a en outre deux essieux munis de roues à boudin qui lui permettent de parcourir la voie ferrée. Un cylindre transversal fixé sur les cadres métalliques communique par un tube en caoutchouc avec la conduite d'air comprimé qui aboutit à une certaine distance du fond de la galerie d'avancement. Il distribue l'air comprimé aux machines à l'aide de tubes en caoutchouc reliant les tubes *abc* de ces dernières, aux tubes correspondant dont il est muni, et qui ont chacun un robinet.

Les affûts ainsi constitués sont doués d'une très-grande souplesse et fléchissent sous l'action du mouvement oscillatoire des machines, dans des limites très-restreintes, il est vrai, mais suffisantes pour éviter bien des ruptures.

Injecteurs. — Les injecteurs destinés au curage des trous de mines sont de simples cylindres fixés sur un truc au nombre de deux, et munis de robinets à chaque extrémité.

Chacun d'eux est divisé en deux compartiments par un piston dont les faces sont en contact, l'une avec l'air comprimé, l'autre avec l'eau. A cet effet, deux tubes en caoutchouc sont vissés aux robinets extrêmes de l'injecteur. Le premier communique avec la conduite d'air comprimé, et le second, muni d'une garniture métallique à son extrémité, permet de diriger à volonté l'eau que fait jaillir la pression exercée sur le piston.

Lorsque toute l'eau du cylindre a été injectée, il suffit de mettre le robinet voisin du piston en communication avec une conduite d'eau. Le piston se trouve ainsi refoulé et l'injecteur s'emplit, en ayant soin, bien entendu, d'ouvrir l'autre robinet.

Une caisse en bois posée sur les deux cylindres sert de réceptacle aux outils.

Paris, le 15 octobre 1874.

N° 26

LES NAVIRES A ÉPERON.

OBSERVATIONS

Sur un article publié dans le *Journal officiel* le 28 avril 1875.

Une notice sur *les Élèves-Externes de l'École des ponts et chaussées*, insérée dans les *Annales* au commencement de l'année courante, contenait incidemment cette mention que les Américains revendiquent pour M. Charles Ellet, à raison d'un mémoire publié par lui en 1855, le mérite de l'invention des navires à éperon. Cette mention fut mal comprise et inexactement rapportée dans un compte rendu que le *Journal officiel* publia le 23 avril. L'article des *Annales* disait : « *M. Ellet est considéré en Amérique comme le véri-* « *table inventeur des navires à éperon.* » Le compte rendu dit : « *Ellet est, paraît-il, le véritable inventeur des navires* « *à éperon.* »

Ainsi transformée, l'assertion devait causer quelque surprise en France, parmi les ingénieurs des constructions navales. C'est ce qui arriva ; et, le 28 avril, le *Journal officiel* publia, à titre de rectification, une note que nous croyons devoir reproduire ici dans son intéressant ensemble.

L'article inséré dans le *Journal officiel* du 23 avril dernier, page 2940, sous le titre de : l'*École des ponts et chaussées et les auditeurs libres*, contient un passage qui a causé quelque surprise parmi les officiers et les ingénieurs de la marine française.

Après avoir cité avec un éloge mérité le nom d'un ingénieur

américain, qui avait suivi à Paris les cours de l'École des ponts et chaussées, en qualité d'auditeur libre, l'auteur de l'article ajoute :

« Ellet est, paraît-il, le véritable inventeur des navires à éperon. L'idée n'est pas neuve, mais les essais tentés en différents pays n'avaient été que des épreuves timides et stériles, jusqu'au jour où l'Américain dont nous parlons la développa dans un mémoire qu'il adressa au congrès. Ce mémoire, qui passa presque inaperçu dans le Nord, fut au contraire très-remarqué dans les États du Sud. Sur ces entrefaites arriva la guerre de la sécession. Des indiscrétions de journaux révélèrent à Ellet que les sudistes construisaient des navires armés de béliers, à Norfolk, à Mobile, à la Nouvelle-Orléans. Il poussa, mais inutilement, un cri d'alarme. Ce cri n'avait pas encore trouvé d'écho, quand à Hampton-Roads, à l'embouchure de la James River, dans la baie de Chesapeake, le *Merrimac* coula bas deux navires fédéraux. »

Ces assertions ne sont point exactes en ce qui concerne l'invention des navires à éperon ; il nous importe de les rectifier.

Bien qu'aucune date précise ne soit citée, on doit inférer des mots « sur ces entrefaites arriva la guerre de la sécession », que le mémoire de l'ingénieur Ellet fut présenté au congrès peu d'années avant le commencement des hostilités, tandis que le *Solferino*, grand vaisseau à vapeur français, rapide, cuirassé et à *éperon*, a été mis à la mer le 28 mai 1861, c'est-à-dire au début même de cette guerre. On comprend aisément qu'une telle construction, qui exigea deux années pour être menée à bonne fin, était la conséquence d'études bien antérieures et de projets sanctionnés par l'approbation du ministre de la marine. On sait d'ailleurs que les plans de ce beau navire, auquel le *Magenta*, autre vaisseau à éperon, a succédé de près, étaient l'œuvre de notre célèbre ingénieur M. Dupuy de Lôme.

Les premiers travaux relatifs à cette question remontent à l'année 1840 ; ils sont dus à l'amiral Labrousse, alors lieutenant de vaisseau.

Deux ans après, en 1842, ce savant officier adressait au ministre de la marine, sous le patronage du prince de Joinville, un second projet de grand navire *à éperon*. C'est à la suite de cet important mémoire que des expériences sur les effets de cette arme, sinon absolument nouvelle, du moins abandonnée et oubliée depuis longtemps, furent ordonnées secrètement au port de Lorient, en 1844. Les résultats en furent assez concluants pour qu'en 1849 le conseil d'amirauté, saisi d'un nouveau projet de M. Labrousse pour la construction d'un vaisseau de 100 canons, à

vapeur, à grande vitesse et à éperon, approuvât l'application de ce dernier engin à l'une de nos frégates à vapeur de 450 chevaux.

Le ministre admit en principe l'avis du conseil d'amirauté ; mais ne voulant pas tenter du même coup, sur un seul et même navire, deux idées aussi neuves et hardies que celle d'une machine de 1.000 chevaux et d'un éperon, il préféra les disjoindre et ajourner momentanément la réalisation de la seconde. Il se borna donc, d'abord, à ordonner la mise en chantier d'un vaisseau à vapeur à grande vitesse. C'est alors que M. Dupuy de Lôme produisit le *Napoléon,* mis à l'eau dans le courant du mois d'avril 1850.

Le succès éclatant de cette construction, qui demeura quelque temps sans rivale dans le monde entier, détermina aussitôt l'administration dirigeante à appliquer intégralement le programme du commandant Labrousse, en réunissant sur un seul et même navire la vitesse et les qualités du *Napoléon* et la puissance agressive de l'éperon. C'est ce nouveau type qui, sous l'habile direction de M. Dupuy de Lôme, allait devenir le *Solferino* et le *Magenta* (1858-1861). Ainsi se trouva réalisée cette importante conception, que les plans de M. Labrousse auraient permis d'aborder dix ans plus tôt, si l'administration n'avait jugé sage de procéder avec plus de circonspection dans une œuvre qui devait être très-coûteuse.

Ce rapide exposé prouve que l'éperon était officiellement connu en France et y avait été l'objet d'expériences sérieuses, plus de quinze ans avant que la guerre de la sécession éclatât. Il ne serait donc pas équitable de refuser à l'amiral Labrousse, pour l'attribuer à un autre, le mérite d'avoir eu le premier l'idée de cette application nouvelle du *rostrum* des anciens, et de mettre si tardivement en doute une priorité à laquelle toute la marine française a de tous temps rendu hommage.

Sans insister sur le malentendu qui a provoqué cette rectification, nous pouvons affirmer que la marine française n'est pas seule à rendre un juste hommage à la priorité d'invention de l'amiral Labrousse. C'est un fait bien établi que cet officier proposa dès 1840, de la manière la plus précise et la plus formelle, l'emploi d'un éperon analogue à celui qui fut construit plus tard pour *le Solferino*, *le Taureau*, etc. Tout le monde aussi a entendu parler de ses études ultérieures et des efforts qu'il fit pour faire adopter son idée. On était moins bien fixé sur la portée des

expériences ordonnées à Lorient en 1844. Si la mise en chantier du premier navire à éperon n'eut lieu qu'en 1858, cette stérilité purement apparente du résultat obtenu dès 1844 s'explique par une circonspection financière bien naturelle. Nous applaudissons donc à cet éclaircissement, qui pourra contribuer à rectifier l'opinion de l'autre côté de l'Océan. D'ailleurs la glorieuse mémoire de l'amiral Labrousse n'aura rien perdu à ce qu'une circonstance fortuite ait conduit à mettre en lumière un fait dont la valeur historique eût pu être compromise par une discrétion trop prolongée.

E. M.

Paris, 11 mai 1875.

CHRONIQUE.

Juin 1875.

N° 27

Chauffage des wagons. — Les divers modes de chauffage des wagons sur les chemins de fer de l'empire d'Allemagne sont les suivants :

1° Vapeur de la locomotive ou d'une chaudière spéciale près de la machine, 10 chemins de fer ;

2° Houille préparée, 30 chemins de fer ;

3° Chaufferettes à l'eau chaude, 26 chemins de fer ;

4° Chaufferettes au sable chauffé, 6 chemins de fer ;

5° Poêles en fer avec houille, 25 chemins de fer ;

6° Poêles en fer avec bacs, 3 chemins de fer ;

7° Poêles en fer avec charbon de bois, 10 chemins de fer ;

8° Autres dispositions à l'essai, 10 chemins de fer.

(*Berliner Bauzeitung*).

Les eaux de Londres. — Les chiffres suivants sont extraits d'un rapport fait par le Dr Letheby à la société des « *Medical Officers of Health* » ; ils se rapportent à la composition moyenne des eaux pendant l'année 1874.

NOMS des compagnies.	Total des matières solides par mètre cube.	Oxygène nécessaire à la combustion des matières organiques.	AZOTE		DURETÉ	
			comme nitrates, etc.	comme ammoniaque.	avant l'ébullition.	après l'ébullition.
Compagnie des eaux de la Tamise :	gr.	gr.	gr.	gr.	deg.	deg.
Grand Junction.	263,3	0,985	1,627	0,029	14,5	3,6
West Middlesex.	256,8	0,557	1,784	0,000	14,2	3,5
Southwark and Wauxhall.	265,6	1,013	1,698	0,029	14,6	3,7
Chelsea.	263,0	0,956	1,684	0,029	14,4	3,6
Lambeth.	263,2	0,971	1,698	0,029	14,4	3,6
Autres compagnies :						
Kent.	396,0	0,029	3,326	0,000	21,0	5,8
New River.	263,9	0,271	1,741	0,000	14,6	3,5
East London.	264,9	0,129	2,084	0,029	14,7	3,7

La quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques, les azotites, etc., a été déterminée à l'aide d'une solution titrée de permanganate de potasse dont l'action a été prolongée pendant trois heures. Dans le cas des eaux dont il est question, la quantité de matière organique est environ huit fois la quantité d'oxygène nécessaire pour l'oxyder.

Les eaux de Kent, New River, East London et West Middlesex ont toujours été claires; celles des autres compagnies ont été souvent plus ou moins troubles; le manque de transparence était sensible lorsque l'eau était regardée sous une épaisseur de $0^{m},60$ qui avait été adoptée comme terme de comparaison. Ce trouble provenait d'une petite quantité d'argile détachée du lit de la rivière et tenue en suspension. La quantité était trop faible pour pouvoir être évaluée. En observant au microscope, on distinguait, en outre, quelques petits fragments de tissus végétaux, des filaments fungoïdes ou confervoïdes ainsi que quelques diatomés; ces matières ont été retrouvées, du reste, dans toutes les eaux, même les plus pures. Une partie des matières en suspension peut d'ailleurs être arrêtée par le filtrage. C'est ce qui résulte des chiffres suivants qui four-

nissent les moyennes des analyses des eaux de la Tamise à Hampton avant le filtrage, et dans les conduites de la compagnie du West Middlesex après le filtrage :

	Avant le filtrage.	Après le filtrage.
	grammes.	grammes.
Total des matières solides par mètre cube. . . .	243,8	229,5
Azote, comme nitrate, par mètre cube.	1,727	1,784
Azote, comme ammoniaque, par mètre cube. .	0,029	0,000
Azote, comme matières albuminoïdes, par mètre cube.	0,100	0,057
Oxygène nécessaire à l'oxydation.	1,399	0,557

La dureté s'est également trouvée réduite de 14° à 13°,1. L'eau avant la filtration était toujours un peu trouble, elle était transparente après.

La quantité d'eau distribuée par jour est indiquée dans le tableau suivant :

1874	MÈTRES CUBES par jour.	NOMBRE de maisons desservies.	LITRES par tête et par jour.
Janvier.	494.200	508.329	147,2
Février..	493.850	508.465	147,2
Mars.	496.250	508.818	147,7
Avril.	507.900	509.017	151,2
Mai.	549.400	510.033	161,7
Juin.	569.350	510.499	167,2
Juillet.	577.850	512.203	169,9
Août.	578.250	512.540	169,9
Septembre.	547.550	512.825	160,8
Octobre.	527.000	513.520	154,9
Novembre.	505.200	513.772	148,1
Décembre.	484.450	514.178	142,2
Moyenne pour l'année. .	527.523	511.178	158,5

Sur l'abaissement et l'exhaussement naturels des lacs. — Les inondations de la vallée du Pô (*). — A l'occasion d'indications relatives à l'abaissement du lac de Genève fournies

(*) Note présentée à l'Académie des sciences par M. Dausse, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite.

par M. de Candolle, M. Dausse a présenté les remarques suivantes sur les causes qu'il croit pouvoir attribuer aux variations de niveau des lacs :

Toutes les fois qu'un lac a son émissaire dans un défilé, dans un couloir, ce couloir se creuse avec le temps, y eût-il même là un affluent charriant des cailloux ; le lac s'abaisse donc. Au contraire, lorsque le lac se déverse sur une plaine, la végétation, et surtout un affluent torrentiel, s'il s'en trouve un, exhaussent sans cesse ce lac.

Le premier cas est celui du lac de Genève ; aussi malgré l'existence de l'Arve qui charrie des cailloux et qui débouche à l'issue du Léman, le niveau doit s'abaisser ; il s'est abaissé de 2 mètres depuis l'époque de la domination romaine. Un fait analogue s'est manifesté au lac du Bourget.

M. Dausse cite comme exemple du second cas le lac de Walen, celui de Thoun qui rendaient autrefois les contrées voisines insalubres et dont la fâcheuse influence fut annulée par la création de couloirs artificiels. Il ajoute qu'un travail analogue, mais plus considérable, est en cours d'exécution dans le Séeland ; il s'agit de jeter l'Aar dans le lac de Bienne : en même temps, on a créé un nouvel émissaire à la droite de Nidau, et cet ouvrage a abaissé de 2 mètres le niveau de l'eau ; cet abaissement a mis à découvert une voie romaine, ce qui prouve que depuis l'époque où cette voie a été construite le niveau s'est élevé de 2 mètres.

Dans une autre note, M. Dausse fournit quelques chiffres sur les inondations de la vallée du Pô, dans laquelle le système des *endiguements insubmersibles* est appliqué sur une grande échelle depuis plusieurs siècles. D'après les relevés de cotes correspondant à diverses crues, M. Dausse estime que l'amplitude de l'oscillation du Pô a pu atteindre $10^{m},50$ environ pour l'année 1872 ; que le niveau des plus hautes eaux a augmenté de plus de 2 mètres depuis deux siècles ; enfin, d'autre part, que tandis que le XVIIIe siècle n'a

fourni que 41 *rotte* (ruptures des digues), il y en a eu 119 de 1800 à 1872 dont une trentaine seulement de 1800 à 1840, tandis que l'année 1872 seule en a donné 36. M. Dausse n'hésite pas à attribuer ces résultats désastreux à l'emploi des digues insubmersibles contre lesquelles il s'est déjà prononcé à diverses reprises.

Machine à calculer les marées. — Dans l'une des dernières réunions de la « *Royal Society* » d'Édimbourg, sir William Thomson, président de cette société, a montré et décrit une machine donnant directement un graphique représentant tous les éléments des marées : sans vouloir entrer dans le détail de cet appareil, nous dirons, d'après l'*Engineering*, que, par le mouvement de roues et de poulies convenablement reliées entre elles, la composition des effets du soleil et de la lune avec leurs inégalités respectives est obtenue automatiquement et transmise à un style qui se déplace le long d'une droite fixe, tandis qu'une feuille de papier se déroule uniformément au-dessous, perpendiculairement à cette feuille.

On conçoit la simplification qu'apporterait aux calculs de marée l'emploi de cet instrument qui permet de déterminer rapidement, non-seulement le moment de la haute ou de la basse mer avec la hauteur correspondante, mais qui donne le niveau de l'eau à un moment quelconque.

C. M. G.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS EN 1875.

1er SEMESTRE.

PREMIÈRE TABLE.

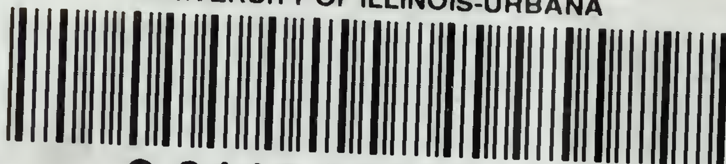
RÉCAPITULATION GÉNÉRALE PAR ORDRE D'INSERTION.

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 1er SEMESTRE DE 1875.

Paris. — Imprimerie ARNOUS DE RIVIÈRE et Ce, rue Racine, 26.


UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 085684857